



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE  
TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS EN EL  
LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ  
DÍAZ” DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UC.**

**Tutor académico:**  
**Ing. Adriana Márquez**

**Autor:**  
**Salazar Italo**

**Bárbula, Junio del 2.015**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE  
TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS EN EL  
LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ”  
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL-UC.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**Salazar Italo**

**Bárbula, Junio del 2.015**

UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para estudiar el proyecto de grado titulado: **PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA "ELIAS SÁNCHEZ DÍAZ" DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL-UC**, realizado por el bachiller **Italo Salazar**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho proyecto.

JURADO CALIFICADOR



Ing. Adriana Márquez

CI 12604007



Ing. Mairin Márquez

CI 12431165



Ing. Gruber Carahallo

Bárbula, Junio del 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN.

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para estudiar el proyecto de grado titulado: **PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ” DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL-UC**, realizado por el bachiller **Italo Salazar**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho proyecto.

**JURADO CALIFICADOR**

---

**Ing. Adriana Márquez**

---

**Ing. Mairin Márquez**

---

**Ing. Gruber Caraballo**

**Bárbula, Junio del 2.015**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso que me dio la salud, sabiduría, voluntad y la dicha de lograr una de mis más grandes metas, *ser Ingeniero*.

A mi Madre **Epifanía Reyes**, gran mujer que cuidó de mí y me dio educación con valores, que a pesar de su poca instrucción, fue una luchadora y hábil persona. Siempre estarás en mis recuerdos y corazón, sabiendo que te sentirás orgullosa de mí como yo de ti cuando a tus 70 años decidiste estudiar.

A mi Padre, **Simón Salazar**, hombre ejemplar, humano, trabajador, responsable y amigo fiel, que me enseñó a ser un hombre de bien como él, ¡Te amo viejo!, que Dios te de vida y salud.

A mis hermanos: **Alcides, Mireya, Geovanny, Olys, Iraima e Isidro**; a los cuales quiero y con quienes cuento. Siempre estarán en mis recuerdos por que son parte de mi vida, gracias por todos esos momentos que hemos compartido y por los sobrinos tan hermosos que me han dado.

A mis Suegros **Lidia y Juan Sandoval**, mis cuñadas y cuñados, en especial a **Lianibel, Lianeidy y Lianileydi**, por su comprensión y ayuda cuando mi familia y yo las hemos necesitado.

A todos los Docentes de la Universidad de Carabobo que realizan tan loable labor y en especial a la Profesora **Ing. Adriana Márquez**, mujer optimista, comprometida a sus ideales, perseverante y buena amiga. Igualmente a la Profesora **Ing. Maryelvis Jiménez y Ing. Mairin Márquez**, por su buen trato, consideración y amistad.

A mi esposa amada, **Lianec Sandoval**, *luz de mis noches, la azúcar de mi café, compañera de mis sueños*, ¡TE AMO! y te agradezco el haberme dado a mis más preciados tesoros, mis dos hijos: **Simón y Jesús Salazar Sandoval**, *el sol y la luna de mis días*. Dios los bendiga y me los cuide a todos....

*Italo Américo Salazar Reyes.*

UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE TÉRMICA Y ENERGÍA.

**PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS KAPLAN,  
PELTON Y FRANCIS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA ELÍAS  
SÁNCHEZ DÍAZ DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL-UC.**

**Tutor:** Ing. Adriana Márquez

**Autor:** Salazar Italo

Año 2.015

**RESUMEN.**

El contenido de esta investigación se basa en la presentación de una Propuesta para la reactivación de tres (3) bancos de turbinas (Kaplan, Pelton y Francis), que se encuentran Inoperativas por más de 40 años en el laboratorio de hidráulica **Elías Sánchez Díaz** de la Escuela de Ingeniería Civil. La realización de este trabajo se desarrolló de la misma manera que se plantearon los objetivos de la propuesta de la reactivación, los cuales son:

- Caracterización de las partes de cada sistema que forman los bancos, mediante la realización de planos, curvas de operación y diagramas. De esta manera se identificarán los sistemas que forman los bancos, sus componentes y cómo interactúan entre si dichos componentes.
- Diagnóstico del estado actual de cada sistema que forma los bancos, para saber en qué condiciones electromecánicas e hidráulica, se encuentran dichos bancos. Esto se realizó asesorados por Técnicos de Corpoelec, Técnicos y Docentes de la UC y la revisión de bibliografías relacionadas a la investigación.
- Elaborar una propuesta de reactivación de los bancos de turbinas que fuera la más conveniente de acuerdo a consideraciones económicas, técnicas y tiempo de ejecución. .
- Finalmente, la Evaluación de la factibilidad técnico-económica de la propuesta de reactivación de los bancos, de esta manera se estimara los costos-beneficios, relacionados a la ejecución de la recuperación de cada banco.

La reactivación de estos bancos de turbinas es un proyecto visionario de gran ayuda para los estudiantes de la U.C., ya que se podrían realizar prácticas en estos bancos y trabajos de investigación de *pre-grado, posgrado y de accenso*.

## ÍNDICE GENERAL

| CONTENIDO                              | Pág.       |
|----------------------------------------|------------|
| AGRADECIMIENTO.....                    | <i>iv</i>  |
| RESUMEN.....                           | <i>v</i>   |
| ÍNDICE GENERAL.....                    | <i>vi</i>  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                 | <i>xi</i>  |
| LISTA DE TABLAS.....                   | <i>xiv</i> |
| INTRODUCCIÓN.....                      | 1          |
| <br>                                   |            |
| <b>CAPITULO I. El Problema.</b>        |            |
| 1.1. Planteamiento del Problema.....   | 2          |
| 1.2. Objetivos.....                    | 3          |
| 1.2.1. Objetivos Generales.....        | 3          |
| 1.2.2. Objetivos Específicos.....      | 3          |
| 1.3. Justificación. ....               | 4          |
| 1.4. Limitación.....                   | 5          |
| 1.5. Delimitación.....                 | 5          |
| <br>                                   |            |
| <b>CAPITULO II. Marco Teórico.</b>     |            |
| 2.1. Reseña Histórica.....             | 6          |
| 2.2. Antecedentes Bibliográficos.....  | 6          |
| 2.3. Bases Teóricas.....               | 8          |
| 2.3.1. Banco de prueba de Turbina..... | 8          |
| 2.3.2. Turbina Pelton.....             | 9          |
| Generalidades.....                     | 9          |
| Principales elementos.....             | 10         |
| 2.3.3. Turbina Francis.....            | 12         |
| Generalidades.....                     | 12         |
| Principales elementos.....             | 13         |
| 2.3.4. Turbina Kaplan.....             | 14         |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Generalidades.....                                          | 14 |
| Principales elementos.....                                  | 15 |
| 2.3.5. Instrumentos de Control y medición.....              | 16 |
| Medidores de presión.....                                   | 17 |
| Medidores Volumétricos.....                                 | 18 |
| Manómetro Medidores de Caudal.....                          | 19 |
| 2.3.6. Energía a partir del agua.....                       | 20 |
| 2.3.7. Motor eléctrico.....                                 | 21 |
| 2.3.8. El Generador eléctrico.....                          | 22 |
| El Generador síncrono.....                                  | 22 |
| El Generador asíncrono o de inducción.....                  | 22 |
| 2.3.9. Elementos de control y protección de generación..... | 23 |
| Protecciones Primarias.....                                 | 23 |
| Protecciones Primarias.....                                 | 24 |

### **CAPITULO III. Marco metodológico**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Tipos de Investigación.....                           | 25 |
| 3.2 Diseño de la Investigación.....                       | 25 |
| 3.3 Etapas de la investigación.....                       | 26 |
| Primera Etapa.....                                        | 26 |
| Segunda Etapa.....                                        | 26 |
| Tercera Etapa.....                                        | 26 |
| Cuarta Etapa.....                                         | 27 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos..... | 27 |
| 3.5 Recursos.....                                         | 28 |

### **CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Introducción.....                                                                                     | 29 |
| 4.2. Caracterización de las partes de cada sistema que forman los<br>bancos de turbinas.....               | 31 |
| 4.2.1. Banco de Prueba de la Turbina Kaplan.....                                                           | 31 |
| 4.2.1.1. Sistema de transformación de energía hidráulicas a mecánica en el banco<br>de turbina Kaplan..... | 31 |
| Descripción y análisis del circuito del sistema hidráulico del banco de<br>turbina Kaplan.....             | 31 |
| Caracterización de la turbina Kaplan (nominales).....                                                      | 32 |
| Curva Característica de turbina Kaplan.....                                                                | 35 |
| Componentes de la turbina Kaplan.....                                                                      | 36 |

|          |                                                                                                                        |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.1.2. | Sistema de generación de recirculación hidráulica en el banco de la turbina Kaplan.....                                | 38  |
|          | Bomba de flujo axial.....                                                                                              | 39  |
|          | Ducteria del banco.....                                                                                                | 43  |
| 4.2.1.3. | Sistema de control e instrumentación del banco de turbina Kaplan.....                                                  | 47  |
|          | Características técnicas de los diferentes dispositivos de control y medición.....                                     | 47  |
| 4.2.1.4. | Sistema de transformación de energía hidráulica a calórica en el banco de turbina Kaplan (freno Prony).....            | 55  |
|          | Características técnicas del freno Prony.....                                                                          | 55  |
| 4.2.1.5. | Sistema de mando y control eléctrico del banco de turbina Kaplan.....                                                  | 56  |
|          | Características técnicas del Panel de control del banco.....                                                           | 56  |
|          | Componentes del circuito de protección y potencia.....                                                                 | 57  |
| 4.2.2.   | Banco de prueba de la turbina Pelton – Francis.....                                                                    | 59  |
| 4.2.2.1. | Sistema de transformación de energía hidráulicas a mecánica del banco de turbina Pelton – Francis.....                 | 59  |
|          | Descripción y análisis del circuito del sistema hidráulico del banco de turbina Pelton – Francis.....                  | 59  |
|          | Caracterización de la turbina Pelton (nominales).....                                                                  | 62  |
|          | Componentes de la turbina Pelton.....                                                                                  | 63  |
|          | Componentes de la turbina Francis del banco de prueba.....                                                             | 70  |
|          | Curva Característica de turbina Francis.....                                                                           | 75  |
| 4.2.2.2. | Sistema de simulación del recurso hidráulico en el banco de turbina Pelton-Francis.....                                | 76  |
|          | Caracterización de la bomba hidráulica (nominales).....                                                                | 76  |
|          | Características Técnicas de los Depósitos de agua.....                                                                 | 79  |
|          | Características Técnicas de la Tubería de agua y accesorios.....                                                       | 82  |
| 4.2.2.3  | Sistema de Control e instrumentación del banco de turbina Pelton-Francis.....                                          | 86  |
|          | Características Técnicas de los diferentes dispositivos de control e instrumentación.....                              | 86  |
| 4.2.2.4. | Sistema de transformación de la energía hidráulica a calórica del banco de turbina Pelton – Francis (freno Prony)..... | 97  |
| 4.2.2.5. | Sistema de generación de potencia, mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton–Francis.....                  | 100 |
|          | Características técnicas del tablero de mando y control eléctrico.....                                                 | 100 |
| 4.3.     | Diagnosticar el estado actual de cada sistema que forma los bancos de turbinas.....                                    | 105 |
| 4.3.1.   | Diagnóstico del sistema de alimentación eléctrica de los bancos de turbina.....                                        | 105 |
|          | Estado actual del sistema de alimentación eléctrica de los                                                             |     |

|          |                                                                                                                           |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|          | bancos de turbina.....                                                                                                    | 105 |
|          | Resultado del Diagnostico.....                                                                                            | 107 |
| 4.3.2.   | Diagnóstico de abastecimiento de agua de los bancos de Turbina.....                                                       | 108 |
|          | Estado actual del abastecimiento de agua de los bancos de Turbina.....                                                    | 108 |
|          | Resultado del Diagnostico.....                                                                                            | 109 |
| 4.3.3.   | Diagnóstico del banco de prueba de la turbina Kaplan.....                                                                 | 109 |
|          | Diagnóstico y reporte de revisión .....                                                                                   | 110 |
| 4.3.4.   | Diagnóstico del banco de prueba de la turbina Pelton-Francis.....                                                         | 112 |
| 4.3.4.1. | Diagnóstico del sistema de transformación de energía hidráulicas a mecánica del banco de turbina Pelton – Francis.....    | 113 |
|          | Estado actual de la turbina Pelton.....                                                                                   | 113 |
|          | Estado actual de la turbina Francis .....                                                                                 | 113 |
| 4.3.4.2. | Diagnóstico del sistema de simulación del recurso hidráulico en el banco de turbina Pelton –Francis.....                  | 116 |
|          | Estado actual de los depósitos para agua .....                                                                            | 116 |
|          | Resultado del diagnóstico de los depósitos .....                                                                          | 117 |
|          | Estado actual de la bomba hidráulica.....                                                                                 | 117 |
|          | Estado actual de la Tubería y accesorios.....                                                                             | 119 |
| 4.3.4.3. | Diagnóstico del sistema de control e instrumentación del banco de turbina Pelton – Francis.....                           | 120 |
|          | Estado actual de los diferentes dispositivos de control y medición del banco de turbina Pelton – Francis.....             | 120 |
| 4.3.4.4. | Diagnóstico del sistema de transformación de la energía mecánica en el banco de turbina Pelton – Francis.....             | 121 |
| 4.3.5.   | Diagnóstico del sistema de mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton – Francis.....                           | 122 |
|          | Estado actual del generador.....                                                                                          | 122 |
|          | Resultado del diagnóstico del generador.....                                                                              | 123 |
|          | Estado actual del Panel de Control y el Banco de resistencia.....                                                         | 123 |
|          | Resultado del diagnóstico del Panel de Control y el Banco de Resistencia.....                                             | 125 |
| 4.4.     | Elaborar una propuesta de reactivación de los bancos de Turbina.....                                                      | 125 |
| 4.4.1.   | Recuperación del sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbina.....                                          | 127 |
|          | Materiales y equipos requeridos para la recuperación del Sistema de alimentación eléctrica de los bancos de turbinas..... | 128 |
| 4.4.2.   | Recuperación del Sistema de abastecimiento de agua de los bancos de turbinas.....                                         | 129 |

|        |                                                                                                                                  |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|        | Materiales y equipos requeridos para la recuperación del Sistema de abastecimiento de agua de los bancos de turbinas.....        | 129 |
| 4.4.3. | Recuperación de la operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de turbina Kaplan.....                             | 130 |
|        | Mantenimiento y realización de Pruebas eléctricas en los Controles y Unidad motora del banco de turbina Kaplan.....              | 133 |
|        | Reparaciones mecánicas del banco de turbina Kaplan.....                                                                          | 135 |
|        | Mejoras de apariencia y corrección en el funcionamiento de la turbina Kaplan.....                                                | 138 |
|        | Materiales e instrumentos requeridos para la implementación de la operatividad manual del banco de turbina Kaplan.....           | 140 |
| 4.4.4. | Recuperación de la actividad manual de los sistemas que conforman el banco de turbina Pelton – Francis.....                      | 142 |
|        | Materiales e instrumentos requeridos para la implementación de la operatividad manual del banco de turbina Pelton – Francis..... | 142 |
|        | Actividades de recuperación de la operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de turbina Pelton-Francis.....      | 142 |
| 4.5.   | Evaluación de la factibilidad técnico económica de la propuesta de reactivación de los bancos de turbina.....                    | 145 |
| 4.5.1. | Costos de la propuesta para la reactivación forma manual de los bancos....                                                       | 145 |
| 4.5.2. | Análisis de los resultados.....                                                                                                  | 154 |

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

|  |                      |     |
|--|----------------------|-----|
|  | Conclusiones.....    | 155 |
|  | Recomendaciones..... | 156 |
|  | Bibliografía.....    | 157 |
|  | Anexos.....          | 158 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA  | CONTENIDO                                                                                     | PÁG. |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1.    | Relación modelo y prototipo.....                                                              | 9    |
| 2.2.    | Componentes de la turbina Pelton .....                                                        | 10   |
| 2.3.    | Turbina Francis y sus componentes.....                                                        | 13   |
| 2.4.    | Componentes de la turbina Kaplan.....                                                         | 17   |
| 2.5.    | Tipos de manómetros isometros y Bourdon.....                                                  | 18   |
| 2.6.    | Placa orificio o diafragma .....                                                              | 19   |
| 2.7.    | Energía Eléctrica obtenida a partir de una fuente hidráulica.....                             | 21   |
| 2.8.    | Componentes de un motor eléctrico.....                                                        | 21   |
| 2.9.    | Tipos de generadores eléctricos.....                                                          | 22   |
| 4.1.    | Esquema de desarrollo para el análisis de resultados.....                                     | 30   |
| 4.2.    | Diagrama esquemático del banco de turbina Kaplan del laboratorio<br>Civil-UC.....             | 31   |
| 4.3.    | Curva Característica de la turbina Kaplan 5960, a 10 Ft de altura.....                        | 35   |
| 4.4.    | Funcionamiento del distribuidor de la turbina Kaplan.....                                     | 38   |
| 4.5.    | Tambor graduado para el giro de los alabes de la turbina Kaplan.....                          | 38   |
| 4.6.    | Alabes o hélices móviles de la bomba Axial 5963 del banco de turbina<br>Kaplan.....           | 42   |
| 4.7.    | Plano descriptivo de la turbina Kaplan Gilkes 5960.....                                       | 43   |
| 4.8.    | Ducteria dimensionada del banco de Turbina Kaplan.....                                        | 45   |
| 4.9.    | Dimensiones de la <i>Placa orificio</i> y el ducto donde está instalada.....                  | 47   |
| 4.10.   | Banco Piezométrico del banco de turbina Kaplan.....                                           | 49   |
| 4.11.   | Diagrama de funcionamiento del Freno Prony de la turbina Kaplan.....                          | 54   |
| 4.12.   | Panel de Control del armario del banco de turbina Kaplan.....                                 | 56   |
| 4.13.   | Componentes de protección y potencia del panel de control del banco<br>de turbina Kaplan..... | 57   |
| 4.14.   | Identificación de los Equipos que conforman el banco de la Turbina<br>Pelton– Francis.....    | 59   |
| 4.15.   | Corte transversal de la Cuchara del Rodete y rango de valores de diseño.                      | 65   |
| 4.16-a. | Corte longitudinalmente que pase por el eje de la turbina Pelton Gilkes<br>5961.....          | 72   |

|         |                                                                                                                               |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.16-b. | Componentes internos de la turbina Francis.....                                                                               | 72  |
| 4.17.   | Escala de Apertura del distribuidor de la turbina Francis 5962 y<br>Apertura entre álabes móviles $a_0$ .....                 | 72  |
| 4.18.   | Altura de diseño de la Turbina Francis.....                                                                                   | 74  |
| 4.19.   | Curvas característica (rpm vs gpm) de la Turbina Francis (D= 6", Ht =<br>160 Ft).....                                         | 75  |
| 4.20.   | Curvas características (rpm vs % eficiencia) de la Turbina Francis (D=<br>6", Ht 160 Ft).....                                 | 76  |
| 4.21.   | Dimensiones de la bomba hidráulica Gilkes del banco de turbinas<br>Pelton- Francis.....                                       | 79  |
| 4.22.   | Depósitos de agua para las pruebas en el banco de la Turbina Pelton–<br>Francis.....                                          | 81  |
| 4.23.   | Sistema de tubería para agua del banco de pruebas de turbinas Pelton-<br>Francis. ....                                        | 82  |
| 4.24.   | Dimensiones de las <i>Reducción</i> usada en el banco de turbinas Pelton-<br>Francis. ....                                    | 85  |
| 4.25.   | Colador usado en la succión de la bomba del banco de turbinas Pelton-<br>Francis.....                                         | 85  |
| 4.26.   | Dispositivos usados para medir diferencia de presión en el banco de<br>turbinas Pelton-Francis.....                           | 86  |
| 4.27.   | Curva para la determinación del coeficiente de carga C.....                                                                   | 87  |
| 4.28.   | Diagrama de operación para la medición con el Piezómetro.....                                                                 | 89  |
| 4.29.   | Dimensiones del vertedero del banco de turbina Pelton-Francis.....                                                            | 94  |
| 4.30.   | Diagrama operativo del Freno dinamométrico del banco de Turbina<br>Pelton.....                                                | 95  |
| 4.31.   | Masa usada en el Freno dinamómetros del banco de turbina Pelton.....                                                          | 95  |
| 4.32.   | Dinamómetro analógico de Resorte.....                                                                                         | 97  |
| 4.33.   | Componentes del Freno Prony de la turbina Pelton.....                                                                         | 98  |
| 4.34.   | Dimensiones generales del Motor-Generador del banco de Turbinas<br>Pelton- Francis. ....                                      | 102 |
| 4.35.   | Panel de control del banco de turbina Pelton Francis.....                                                                     | 103 |
| 4.36.   | Componentes del Sistema de generacion electrica del banco de<br>de turbinas Pelton y Francis.....                             | 104 |
| 4.37.   | Sistemas de Alimentación Eléctrica actual de los bancos de turbina del<br>Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz”..... | 106 |
| 4.38.   | Cajetín en piso con alimentación trifásica.....                                                                               | 106 |
| 4.39.   | Mejoras sugeridas al <i>Sistema de Alimentación eléctrico</i> de los bancos de                                                |     |

## LISTA DE TABLAS.

|       |                                                                                                  |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|       | turbinas.....                                                                                    | 107 |
| 4.40. | Sistema de abastecimiento de agua para los bancos de turbinas del laboratorio de hidráulica..... | 108 |
| 4.41. | Línea de abastecimiento de agua a los bancos de turbinas.....                                    | 109 |
| 4.42. | Condiciones en las cuales se encuentra el fondo del Depósito del banco.                          | 117 |
| 4.43. | Inspección interna de los equipos eléctricos rotativos del banco de turbinas Pelton-Francis..... | 123 |
| 4.44. | Selector del cambio del motor a generador.....                                                   | 124 |
| 4.45. | Elementos de control y protección del Panel de control del banco de turbinas Francis-Pelton..... | 124 |
| 4.46. | Mantenimiento del Panel de control del Banco de Turbina kaplan.....                              | 133 |
| 4.47. | Evaluación del estado de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan.                           | 134 |
| 4.48. | Arranque al vacío de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan.                               | 134 |
| 4.49. | Mantenimiento mecánico de la turbina Kaplan.....                                                 | 135 |
| 4.50. | Mantenimiento de la ductería y bomba axial.....                                                  | 136 |
| 4.51. | Montaje, alineación y ajuste de la Bomba Axial.....                                              | 136 |
| 4.52. | Mantenimiento de Placa orificio y Tomas de la placa orificio.....                                | 137 |
| 4.53. | Trabajos sin arranque en la ductería, de la bomba axial.....                                     | 137 |

| TABLA | CONTENIDO                                                                                    | PÁG. |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.2.  | Métodos de medición de flujo.....                                                            | 28   |
| 4.1.  | Herramientas requeridas para el desarrollo de la investigación.....                          | 29   |
| 1.    | Caracterización de la turbina Kaplan del laboratorio de Hidráulica Civil- U.C.....           | 35   |
| 2.    | Componentes de la Turbina Kaplan del Banco de Prueba.....                                    | 37   |
| 3.    | Valores de la Bomba Axial del banco de turbina Kaplan.....                                   | 40   |
| 4.    | Características de Funcionamiento de la Bomba Axial del banco de Turbinas Kaplan.....        | 42   |
| 5.    | Volumen del sistema de tubería del banco de turbina Kaplan.....                              | 45   |
| 6.    | Características de la tubería, bridas y accesorios del banco de turbina Kaplan.....          | 47   |
| 7.    | Datos técnicos de la Placa orificio y el Banco Piezométrico del banco de turbina Kaplan..... | 49   |
| 8.    | Propiedades del agua 25°.....                                                                | 50   |
| 9.    | Parámetros de la ecuación de la placa orificio.....                                          | 52   |
| 10.   | Caracterización de los Instrumentos de control y medición del banco turbina Kaplan.....      | 53   |
| 11.   | Datos técnicos del estabilizador de flujo de la turbina Kaplan.....                          | 54   |
| 12.   | Datos técnicos del freno Prony de la turbina Kaplan.....                                     | 56   |
| 13.   | Masas usadas por los Frenos Dinamométrico en los bancos turbinas.                            | 56   |
| 14.   | Características del <i>Sistema de mando y protección</i> del banco de turbina Kaplan.....    | 59   |
| 15.   | Diagrama hidráulico del banco de la turbina Pelton-Francis.....                              | 63   |
| 16.   | Datos de la <i>Placa Técnica</i> de la turbina Pelton.....                                   | 64   |
| 17.   | Clasificación de las Turbinas hidráulicas de acuerdo al <i>Ns</i> .....                      | 64   |
| 18.   | Rendimiento total de la Turbina Pelton, según la Pot. Neta.....                              | 64   |
| 19.   | La <i>Velocidad Específica (Ns)</i> y <i>Caudal nominal (Qn)</i> de la turbina Pelton.....   | 65   |
| 20.   | Corte de una sección transversal de la turbina Pelton Gilkes 5961.....                       | 65   |
| 21.   | Caracterización del Rodete de la turbina Pelton del banco de Pruebas                         | 66   |
| 22.   | Caracterización del Distribuidor de la turbina Pelton del banco de Pruebas.....              | 68   |
| 23.   | Caracterización de los componentes del Inyector de la turbina Pelton.....                    | 69   |
| 24.   | Componentes de la Turbina Francis del Banco de Prueba.....                                   | 72   |
| 25.   | Caracterización del Rodete de la turbina Francis.....                                        | 75   |
| 26.   | Valores Nominales de la turbina Francis Gilkes 5962.....                                     | 76   |
| 27.   | Valores de placa de la Bomba del banco de turbina Pelton-Francis....                         | 79   |
| 28.   | Caracterización de la bomba del banco de turbinas Pelton-Francis....                         | 80   |
| 29.   | Capacidad y Peso de los Depósito de almacenamiento del banco de Turbina Pelton-Francis.....  | 83   |

|     |                                                                                                                                         |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 30. | Características de la Tubería y accesorios del banco de Turbina Pelton- Francis.....                                                    | 86  |
| 31. | Característica de la Brida de las tuberías del banco.....                                                                               | 87  |
| 32. | Datos técnicos de la Placa orificio y Piezómetro del banco de turbina Pelton- Francis.....                                              | 91  |
| 33. | Diagrama y caracterización de los componentes del sistema del piezómetro del banco de turbinas Pelton-Francis.....                      | 93  |
| 34. | Especificaciones de los Instrumentos de control y medición del banco de turbinas Pelton- Francis.....                                   | 96  |
| 35. | <b>Masas</b> usadas en el Freno dinamométrico del banco turbina Pelton...                                                               | 99  |
| 36. | Caracterización del freno Prony de la turbina Pelton.....                                                                               | 103 |
| 37. | Características del Motor-generator del banco de turbina Pelton- Francis.....                                                           | 104 |
| 38. | Características del Sistema de mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton y Francis.....                                     | 107 |
| 39. | Reporte de la revisión del banco de <b>turbina Kaplan</b> .....                                                                         | 114 |
| 40. | Evaluación Técnica de los componentes que forman la <b>turbina Pelton</b> .....                                                         | 117 |
| 41. | Evaluación Técnica de los componentes que forman la <b>turbina Francis</b> .....                                                        | 118 |
| 42. | Evaluación Técnica de la <b>Bomba hidráulica</b> del banco de turbinas Pelton- Francis.....                                             | 120 |
| 43. | Evaluación Técnica de la Tubería y Accesorios del banco de turbina Pelton- Francis.....                                                 | 123 |
| 44. | Evaluación Técnica de los Dispositivos de Control del banco de turbina Pelton- Francis.....                                             | 124 |
| 45. | Resultados del <i>Estado actual del freno Prony</i> del banco de turbina Pelton.....                                                    | 125 |
| 46. | Propuesta para el <b>Sistema de alimentación eléctrico</b> de los bancos de turbinas.....                                               | 131 |
| 47. | Materiales, equipos e instrumentos usados en la reactivación de la <b>turbina Kaplan</b> .....                                          | 132 |
| 48. | Propuesta para el <b>Sistema de abastecimiento de agua</b> de los bancos de turbinas.....                                               | 133 |
| 49. | Materiales y equipos requeridos para la recuperación del <b>Sistema de abastecimiento de agua</b> de los bancos de turbinas.....        | 134 |
| 50. | Propuesta para la <b>Operatividad manual</b> de los sistemas del banco de turbina Kaplan.....                                           | 135 |
| 51. | Etapas de reactivación del banco turbina Kaplan.....                                                                                    | 136 |
| 52. | Actividades de <i>Mejoramiento de apariencia e instalación de instrumentos</i> de registro de datos en el banco de turbinas Kaplan..... | 143 |
| 53. | Materiales, equipos e instrumentos usados en la reactivación de la <b>turbina Kaplan</b> .....                                          | 145 |
| 54. | Actividades de recuperación de operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de <b>turbina Pelton- Francis</b> .....       | 147 |
| 55. | Materiales, equipos e instrumentos requeridos para la reactivación de la <b>turbina Pelton-Francis</b> .....                            | 149 |

|     |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 56. | Inversiones por concepto de recuperación del <b><i>Sistema de alimentación eléctrico</i></b> de los bancos de turbinas. (Precios 2015)....           | 151 |
| 57. | Inversiones por concepto de recuperación del <b><i>Sistema de abastecimiento de agua</i></b> de los bancos de turbinas (Precios 2015)...             | 152 |
| 58. | Inversión hecha con recursos del <b>Fonacid</b> para la reactivación del banco de turbinas Kaplan (Precios 2015).....                                | 153 |
| 59. | Inversión hecha con recursos del <b>Fonacid</b> para la reactivación del banco de turbinas Pelton-Francis (Precios 2015).....                        | 154 |
| 60. | Inversión por <b>donaciones</b> para la reactivación del banco de turbina Kaplan.....                                                                | 155 |
| 61. | Estimación de <b>Costo por mano de obra</b> para la recuperación del sistema de alimentación eléctrica, abastecimiento de agua y turbina Kaplan..... | 156 |
| 62. | Estimación de Costo por <b>mano de obra</b> para la reactivación del banco de turbina Pelton –Francis.....                                           | 157 |
| 63. | Inversiones por logística para la reactivación del banco de turbina Kaplan.....                                                                      | 158 |

## INTRODUCCIÓN.

En Venezuela, donde la principal fuente de energía eléctrica es de origen hídrico, representando aproximadamente el 60% de la producción total del país (según cifras oficiales de Ministerio del Poder Popular de Energía Eléctrica), es imprescindible educar a la población en cuanto a la generación y ahorro de este recurso e implementar planes de aprovechamiento de cualquier fuente alternativa que ayude a preservar el ambiente y la vida en el planeta.

Venezuela está comprometida internacional y Constitucionalmente para desarrollar tecnologías que trabajen con energía limpia o renovable. Por tal motivo, el Estado a nivel energético se ha planteado las siguientes metas: Concientizar el uso racional y eficiente de la electricidad; mejorar la distribución, el mantenimiento y generación del sistema eléctrico nacional; culminar las centrales hidroeléctricas ya iniciadas; trabajar en nuevos proyectos eléctricos de baja, media y alta generación, así como también invertir en programas educativos, investigaciones, modernización de laboratorios entre otros ([www.veneconomia.com](http://www.veneconomia.com)).

En el laboratorio de hidráulica *Elías Sánchez Díaz*, de la Escuela de Ingeniería Civil-UC, se encuentran tres (3) bancos de turbinas que han estado *inoperativas* por más de 40 años, desconociéndose las causas. La reactivación de estos bancos de turbinas es un proyecto visionario de gran ayuda para los estudiantes de la U.C., ya que se podrían realizar prácticas en estos bancos y trabajos de investigación de *pre-grado, posgrado y de accenso*.

El trabajo de investigación ha sido estructurado en cuatro capítulos: en el *primer capítulo* se definen los objetivos, la justificación y el alcance de la investigación en sí. En el *segundo capítulo* se muestran las bases teóricas concernientes a la investigación, el *tercer capítulo* contiene el diseño y metodología adoptados para el desarrollo de la evaluación de los banco de turbinas. En el *cuarto capítulo* se presentan los resultados de los estudios en cuanto a la caracterización de los componentes que conforman los diferentes sistemas de los bancos de turbinas, el diagnóstico sobre dichos sistemas, la propuesta para su reactivación y la factibilidad Técnico-Económica. Por último, se presenta el quinto capítulo que incluye las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Cada año la demanda de energía va en accenso, con lo cual las fuentes de energía convencionales como el petróleo sufren un deterioro o escasez irreversible, a esto hay que agregar el excesivo aumento de los gases producto de la combustión de este mineral y sus derivados; gases que afectan a todo el sistema ecológico del planeta tierra, ocasionando muchos fenómenos climáticos como el efecto invernadero o el calentamiento global que desencadena grandes catástrofes en algunos lugares, además de provocar muchas enfermedades respiratorias y del corazón en los seres humanos (Protocolo de Kioto, Julio de 2.001).

Debido a todo lo antes mencionado surge la necesidad urgente de buscar nuevas formas de energía, las cuales puedan usarse para los mismos fines y producir mejores resultados frente a los combustibles fósiles, además de garantizar el desarrollo sostenible y asegurar la existencia a futuro de estas fuentes de energía alternativas que hoy en día se conocen como energía renovables.

Para la discusión de los efectos sobre el medio ambiente que tiene la producción y consumo de los diferentes tipos de energía, se han realizados foros internacionales en donde se han convocado a líderes políticos, ecologistas, científicos, entre otros y han tomado algunas medidas, en las que se pueden destacar: Desarrollar sistemas energéticos y tecnológicos para la transformación de energía en trabajo productivo, que sustituyan tanto a los combustibles fósiles como a los nucleares y cumplir con los compromisos firmados sobre la reducción de la emisión de gases que causan el *Efecto Invernadero*, destrucción de la *Capa de Ozono*, desertificación, desforestación y otros.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, queda de parte de los entes competentes gestionar, así como también la elaborar proyectos de inversión económica, para la construcción de laboratorios modernos y mejorar las condiciones de los existentes, donde

se realizan estudios relacionados con la *Generación Eléctrica* (térmicos, hidráulicos, eléctricos, eólicos y otros).

Tal es el caso del Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, que cuenta con tres (3) bancos de prueba de turbinas (Kaplan, Pelton y Francis) que han estado inoperativos por más de cuarenta (40) años, debido a la falta de inversión para su reparación y mantenimiento. Cabe destacar que el principio de funcionamiento de estas turbinas es similar al utilizado en la mayoría de las turbinas instaladas en las centrales hidroeléctricas del país.

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar una Propuesta para la reactivación de los bancos de turbinas Kaplan, Pelton y Francis del laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la escuela de Ingeniería Civil-U.C.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar las partes de cada sistema que forman los bancos de turbinas, Pelton Francis y Kaplan, mediante la realización de planos, curvas de operación y diagramas.
- Diagnosticar el estado actual de cada sistema que forma los bancos de turbina.
- Elaborar una propuesta para la reactivación de los bancos de turbinas.
- Evaluar la factibilidad técnico-económica de la propuesta para la reactivación de los bancos de turbinas.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN.

El Ministerio del Poder Popular de Energía Eléctrica (MPPEE) a través de *Corpoelec*, ha trazado algunas políticas energéticas entre las que destacan: el *Mejoramiento de la distribución eléctrica, el mantenimiento y generación del sistema eléctrico nacional, así como también incrementar en dos (2) años la capacidad de generación eléctrica actual de 20.000 MW a 32.000 MW* ([www.veneconomia.com](http://www.veneconomia.com)).

De este modo se espera satisfacer la demanda actual e incluso soportar la creciente habitacional, industrial y comercial que se prevé en el país. Las inversiones en cuanto a la generación eléctrica se harán principalmente utilizando energía limpia o renovable como la hidráulicas, eólicas, solar y otras ([www.veneconomia.com](http://www.veneconomia.com)). De allí la importancia de contar con el personal docente y laboratorios suficientemente dotados de materiales, equipos e instrumentos que garanticen una formación integral al personal que van a laborar en este campo y hacer realidad estos proyectos.

La reactivación de los bancos de turbinas Kaplan, Pelton y Francis del laboratorio de hidráulica de la U.C., serian de mucha ayuda para el estudiante de ingeniería Civil, ingeniería Eléctrica y de Mecánica, ya que su principio de funcionamiento es igual a las turbinas usadas en las diferentes centrales hidroeléctricas que conforman el sistema de electrificación nacional, como lo son: diez (10) turbinas tipo Kaplan que se están instalando en la Central hidroeléctrica Manuel Piar (Tacoma, Estado Bolívar), dos (2) turbinas tipo Pelton (vertical) instaladas en el Complejo hidroeléctrico Uribante-Caparo ( Estado Táchira), veinte (20) turbinas tipo Francis instaladas en el Central hidroeléctrica Simón Bolívar (Gurí, estado Bolívar), entre otras ( [www.opsis.com](http://www.opsis.com)).

Para cualquier institución de educación superior, contar con bancos de turbinas con estas características, es de gran significado, ya que los estudiantes se familiarizarían con ellas, conociendo las variables que intervienen en la producción de energía hídrica, así como también el control y corrección de fallas hidráulicas, mecánicas y térmicas. Es importante destacar que estos tipos de bancos, son únicos en Venezuela, que poseen turbinas de estas dimensiones con fines académicos y que pueden ser usadas como modelo para estudios de

diseño de plantas de generación hidroeléctrica de baja y mediana capacidad, con aplicación en zonas alejadas con fuentes hídricas de desniveles topográficos significativos.

Otros beneficios a considerar con la reactivación de estos bancos de prueba sería el conjunto de trabajos de investigación de *pre-grado*, *posgrado* y *accenso*, que podrán realizar los estudiantes y docentes de las distintas carreras de Ingeniería que se dictan en la Universidad de Carabobo.

#### **1.4. LIMITACIONES.**

Como ya fue mencionado anteriormente, la inoperatividad de los bancos de turbinas ha generado algunas consecuencias que han afectado a esta investigación de la siguiente manera: Poca o ninguna información sobre la instalación y funcionamiento de los bancos, ya que se extravió el manual del fabricante y no se cuenta con trabajos de pre-grado, post-grado y de ascenso que se refieran a caracterización, reactivación y modernización de dichos bancos por más de 10 años.

#### **1.5. DELIMITACIÓN.**

La investigación sobre los bancos de turbinas que se encuentran en el laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la escuela de Ingeniería Civil-UC, se circunscriben en la detección de componentes mecánicos dañados o defectuosos, estado de los motores, generadores, circuitos eléctricos, control e instrumentación de los diferentes sistemas que lo conforman y de acuerdo a los resultados que se obtengan en la revisión general de las condiciones de los bancos de turbinas, se harán solo propuestas y estimaciones de costo para el mejoramiento, reparación y modernización de los equipos mecánicos, eléctricos, sistemas de control e instrumentación de los mismos.

La implementación de las propuestas que surjan de este trabajo de investigación para la reactivación de los bancos de pruebas, quedará a decisión de las autoridades de la institución.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. RESEÑA HISTÓRICA.**

El Laboratorio de Mecánica de los Fluidos “Elías Sánchez Díaz”, cuyo nombre es en honor a un gran Investigador de la Hidráulica en Venezuela, fue diseñado en los años 70 por el Ingeniero Zindrich Brezzina, experto en ingeniería Hidráulica, recordado principalmente por haber diseñado el Puerto de la Guaira. Se le coloca el nombre de Elías Sánchez Díaz motivado a que éste ingeniero, quien realizó estudios de Postgrado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Florida en el Campo de Gainesville, muere de cáncer a mediados de los 80 cuando Brezzina termina la construcción del laboratorio y le colocan el nombre en su honor.

El primer técnico de máquina de nombre Severino Manfredinni, y el Ing. Brezzina, fueron los que construyeron el laboratorio, sin dejar de mencionar la participación de profesores como Emilio Porta Lilly, Ron de la Rica, Francisco Camacho, Humberto Cartaya, Miguel Montilva y por supuesto Elías Sánchez, como colaboradores en dicha construcción.

En el laboratorio existen tres (3) bancos de turbinas hidráulicas (Pelton, Francis y Kaplan) que fueron donados por el Príncipe de Gales, (Reino de Inglaterra) en los años 60. Estos bancos de turbinas estuvieron operativos por un periodo muy corto, ya que progresivamente fueron presentando fallas en los componentes de accionamiento electromecánico que no pudieron ser atendidas debido a la escasez del presupuesto. A partir del año 2013, se han realizado trabajos de investigación para la reactivación de los bancos de turbinas y en la actualidad se encuentra operativo el banco de la turbina Kaplan en un 98%, mientras que el banco de turbina Pelton y Francis se encuentra en la fase inicial de reactivación.

### **2.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.**

Dentro de los trabajos de investigación que se usaron como apoyo bibliográfico, están los siguientes:

En el trabajo de ascenso, **Pruebas operacionales del banco de ensayo H81 para turbinas Peltón y Francis de la IUTEB**, hecha por Marturet en el 2.010, que tuvo como objetivo analizar, detectar y corregir la causa mecánico, eléctrico y operacional por la cual el Banco H81 del laboratorio del instituto universitario, arrojaba valores de caudal, altura de trabajo, eficiencia y revoluciones “Erradas”. Este problema surgió luego de unas mejoras tecnológicas en cuanto a la adquisición de datos, en el que se usaron sensores, microcontroladores y un software llamado **INVERTER**.

La similitud del banco de prueba de turbina H81 con el banco de prueba de turbinas que se encuentra en el laboratorio de hidráulica de Ingeniería Civil-UC “Elías Sánchez Díaz”, servirá de referencia para la determinación de algunos parámetros de operación de las turbomaquinas ( $Q_n$ ,  $H_n$ , Pot eje y otros), así como también reconocer algunos componentes e instrumentos que se requieren para la reactivación de las turbina, bomba, generadores, freno Prony, entre otros. También se analizará como el investigador construyo las curvas características de la turbina, igualmente como detecto y corrigió las fallas del banco.

El trabajo de grado titulado, **Estudio en el banco de pruebas o tutor para determinar la potencia y eficiencia de las turbinas Pelton y Francis de la facultad de Ingeniería Civil**, llamado a referencia, que fue hecha en el año 2.011 por Porras, se centra en la recuperación mecánica y eléctrica del banco, la modernización el sistema de adquisición de datos, la elaboración de un manual de funcionamiento para el uso adecuado del software y finalmente, indicar las partes que requieren mantenimiento y los pasos a seguir para la conservación del mismo.

Otra información que se consideró para la investigación en el trabajo de Porras, fueron los pasos con que se ejecutó la reactivación del banco de turbina, la sustitución de instrumentos analógicos por electrónicos, el registro de las revoluciones de la turbina con ayuda de sensores y el uso de transductores de fuerza con galgas extensiométricas para la determinación de caudal.

En el trabajo titulado, **Automatización de las Turbomáquinas del laboratorio de fluidos de la facultad de mecánica**, hecha por Anita Guillén en el 2.011, tiene como objetivo la instalación de varios sistemas de captación de datos en los diferentes equipos

que conforman los bancos que están en el laboratorio de fluido de Ingeniería mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, usando Controladores Lógicos Programables o PLC's necesarios para el uso del software LabVIEW.

Entre los bancos automatizados, se encuentra tres (3) que tienen instaladas las siguientes turbinas todas de marca **Armfield**: Una turbina Pelton, otra Francis y por ultimo una Kaplan, con características similares a las turbinas que encuentran en el laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz”.

La similitud que existe entre estos bancos, pueden ser de gran utilidad para la caracterización de los diferentes componentes de los sistemas que conforman los banco de turbina en estudio, el rango de funcionamiento que deben tener los diferentes instrumentos de medición, el procedimientos para la puesta en funcionamiento, el registro de datos de las pruebas hechas, la construcción de las curvas de operación, entre otras.

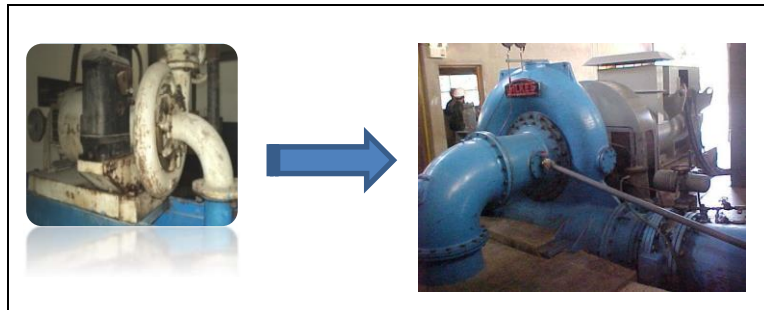
## **2.3. BASES TEÓRICAS.**

### **2.3.1. Banco de prueba.**

Un banco de pruebas es una plataforma para realizar experimentos de proyectos de gran desarrollo. Los bancos de pruebas brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales, y otras nuevas tecnologías.

En los banco de pruebas se instala el modelo o estructura a escala reducida (en algunos casos ampliada) de un prototipo que ya existe o se desea construir, que está provisto de equipos e instrumentos usados para variar los parámetros que intervienen en el fenómeno en estudio (ver fig. 2.1.). Entre los equipos e instrumento que debe contar un banco de prueba se encuentran: una o varias unidades de bombeo con variador de velocidad, medidor de caudal, tacómetros, manómetros, vacuómetros, Torquímetro, entre otros.

Entre las pruebas que se pueden realizar en los bancos diseñados para turbomaquinas se encuentran: construcción de las curvas de operación, análisis de eficiencia y pérdidas del equipo, análisis de fuerza, torque y potencia, estudio de cavitación, golpe de ariete.



**Figura 2.1.** Relación Modelo y Prototipo.

### **2.3.2. Turbina Pelton.**

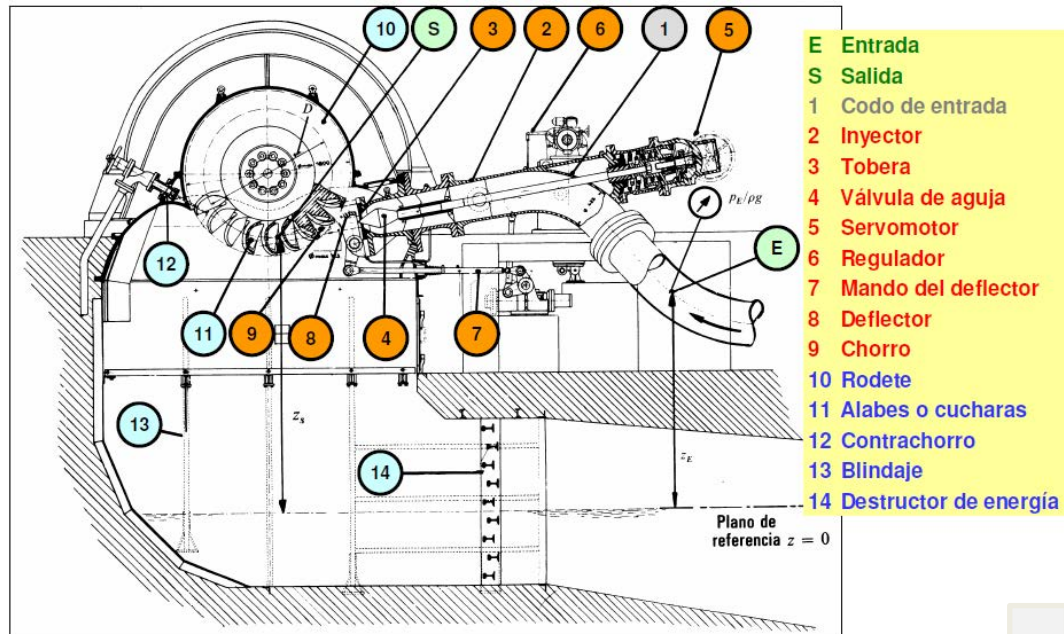
#### **Generalidades.**

La turbina Pelton es una de las más eficientes de las Turbomáquinas motoras, de flujo transversal, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas en energía mecánicas (ver fig. 2.2.).

Las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan la mayoría de las veces, con una larga tubería llamada *galería de presión* para transportar el fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de doscientos metros. A final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectores, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

Esta turbina presenta un flujo tangencial, dado que el chorro, proveniente de una tobera, incide tangencialmente al rodete, que se encuentran formada por una rueda en cuya periferia presenta una serie de álabes en forma de doble cuchara. Esta doble cuchara posee entre ellas, una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación

simétrica en dirección axial, con lo que se logra el equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección.



**Figura 2.2.** Componentes de la Turbina Pelton.  
(Fuente: Sistemas Energéticos (Master I.I.), Universidad de Cantabria).

### Principales elementos

➡ **El Distribuidor**, está constituido por uno o varios equipos de inyección de agua, cada uno de dichos equipos tiene como misión dirigir convenientemente un chorro de agua cilíndrico y de sección uniforme sobre el rotor, también regula el caudal preciso que ha de fluir hacia el rotor, llegando incluso a cortarlo totalmente cuando sea necesario. El distribuidor consta de las siguientes partes:

- **La cámara de distribución**, es la prolongación de la tubería forzada, acoplada a ésta por una brida de unión, entre la tubería forzada y la cámara de distribución se localiza la válvula de entrada a la turbina, también es conocida como cámara de inyectores. Tiene como misión fundamental conducir el agua hasta el inyector, igualmente sirve de soporte a los demás mecanismos que integran el distribuidor.

- **El inyector**, es el elemento mecánico destinado a dirigir y regular el chorro de agua. Está compuesto por:

- ✓ **Tobera**, constituye una boquilla, con orificio de sección circular de un diámetro entre 5 y 30 cm., instalada al final de la cámara de distribución. Dirige el chorro de agua, tangencialmente hacia la periferia del rotor, de tal modo que la prolongación de la tobera forma un ángulo de 90° con los radios de rotor.

- ✓ **Aguja**, constituye un vástago situado concéntricamente en el interior del cuerpo de la tobera con movimiento de desplazamiento longitudinal en dos sentidos.

- ✓ **Deflector**, es un dispositivo mecánico que, a modo de pala, puede ser intercalado con mayor o menor incidencia en la trayectoria del chorro de agua, entre la tobera y el rotor a fin de desviar, total o parcialmente el agua, impidiendo el embalamiento del rotor.

➡ **Equipo regulador de velocidad**, está constituido por un conjunto de dispositivos a base de servomecanismos, cuya función es mantener constante la velocidad de rotación.

➡ **Rotor o rodete**, es la pieza clave donde se transforma la energía hidráulica del agua en energía mecánica, esencialmente consta de los siguientes elementos:

- ✓ **Rueda motriz**, está unida rígidamente al eje por medio de chavetas y anclajes adecuados. Su periferia está mecanizada apropiadamente para ser soporte de los cangilones.

- ✓ **Cangilones**, También denominados álabes, cucharas o palas. Están diseñados para recibir el empuje directo del chorro de agua. Su forma es similar a la de una doble cuchara, con una arista interior lo más afilada posible, de modo que divide al cangilón en dos partes simétricas. Sobre esta arista incide el chorro de agua.

Actualmente para rotores de cualquier tamaño, los cangilones están forjados con la misma rueda, formando una pieza única, lo cual permite una economía en la construcción y mayor seguridad de funcionamiento.

➤ **La cámara de descarga**, conocida también como tubería de descarga, es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rotor, para evitar deterioros por la acción de los chorros de agua, y especialmente de los originados por la intervención del deflector, la cámara de descarga suele disponer de un colchón de agua de 2 a 3 m de espesor y blindajes o placas situadas adecuadamente.

➤ **El sistema de frenado**, consiste en un circuito de agua derivado de la cámara de distribución. El agua, proyectada a gran velocidad sobre la zona convexa de los cangilones, favorece el rápido frenado del rodete, cuando las circunstancias lo exigen.

➤ **El Eje**, esta rígidamente unido al rotor y situado sobre cojinetes debidamente lubricados, transmite el movimiento rotacional al eje del generador, el número de cojinetes instalados así como su función, radial o radial-axial, dependen de las características del grupo turbina - generador.

### 2.3.3. Turbina Francis.

#### Generalidades

La turbina Francis es una turbina de reacción de flujo diagonal, dado que el agua entra de forma radial y se acerca al eje en su recorrido a través del rotor hasta salir de forma axial, para de este modo, conseguir un aumento de velocidad de rotacional del eje, gracias al flujo centrípeto (ver fig. 2.3.).

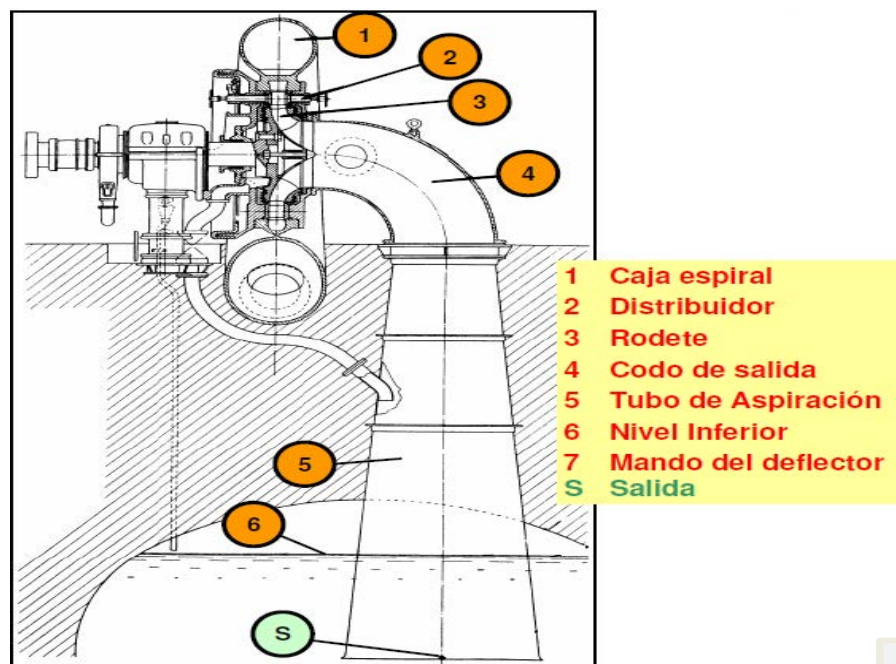
Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez metros hasta varios cientos de metros cuando se dan condiciones de caudal constante. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea la más ampliamente usada

en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica. El agua llega a la cámara espiral, voluta o caracola, encargada de distribuir de forma uniforme el caudal por medio de un conducto circular de diámetro decreciente que envuelve al rotor describiendo una espiral y de este modo alimenta el distribuidor de forma simétrica.

En el distribuidor, el agua se orienta y el caudal se regula por medio de una corona fija de álabes convergentes dispuestos en pares que se mueven de forma síncrona. Las palas del rotor están dispuestas de manera que el agua circula entre ellas. La presión del agua hace que al salir en un determinado ángulo, la reacción a la fuerza del agua haga girar el rotor.

### **Principales elementos:**

▼ **Caja espiral**, es un conducto alimentador de sección generalmente circular y de diámetro decreciente, que circunda al rotor procurando fluido necesario para la operación de la turbina, de acuerdo a las dimensiones de la turbina se construye de acero colado, fundición, chapa redoblada o soldada u hormigón armado.



**Figura 2.3.** Turbina Francis y sus componentes.  
(Fuente: Sistemas Energéticos (Master I.I.), Universidad de Cantabria).

➤ **Distribuidor**, la caja espiral y el distribuidor dirigen el agua al rodete con un mínimo de pérdidas y transforman parte de la energía de hidráulica en energía cinética. El distribuidor es de álabes orientales y sirve también para producir el caudal cuando la carga de la turbina disminuye, conservando el mejor rendimiento posible, es decir reduciendo al mínimo las pérdidas hidráulicas por fricción y choque.

➤ **Rodete**, los perfiles de los álabes son muy importantes para el buen rendimiento de la turbina, la rueda es de una sola pieza de fundición de hierro, acero, acero aleado o acero inoxidable para rodetes grandes y donde pueda existir vibración.

➤ **Tubo de desfogue o difusor**, consta de un codo seguido de un tubo rectilíneo vertical u oblicuo, da salida al agua de la tubería y al mismo tiempo procura una ganancia en carga estática hasta el valor de la presión atmosférica. La forma acodada permite colocar el rodete móvil más próximo al nivel de aguas abajo, este es necesario para las máquinas de velocidad específicamente alta.

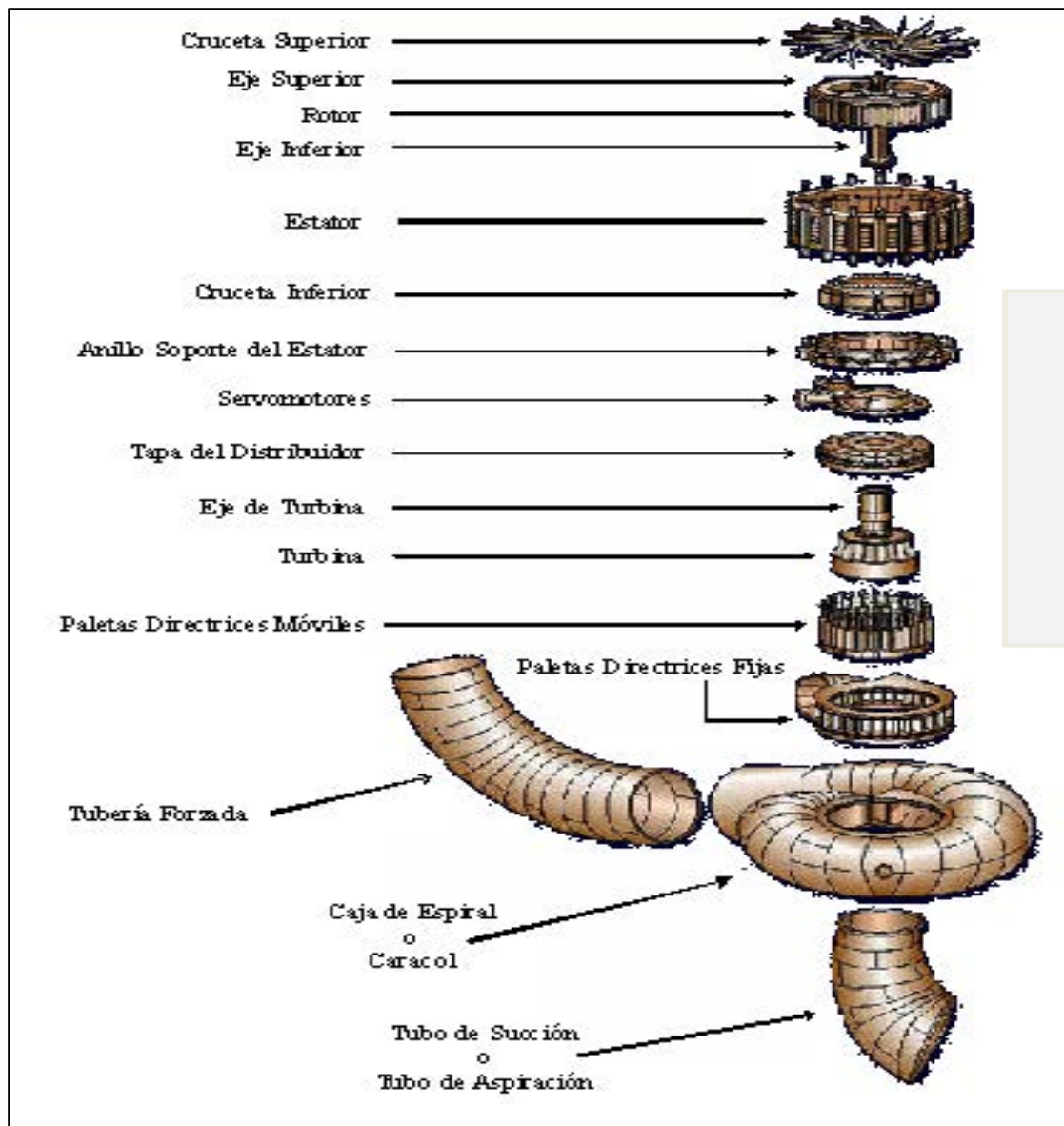
#### 2.3.4. Turbina Kaplan.

##### Generalidades.

La importancia de las turbinas Kaplan en pequeños saltos con grandes caudales, las hacen idóneas tanto en posición horizontal como vertical; por su similitud con las turbinas bulbo, empleadas tanto en centrales mareomotrices como en algunas mini centrales. La turbina Kaplan es una turbina de reacción y su flujo es completamente axial, es una turbina de hélice con álabes ajustables de manera que la incidencia del agua en el borde de ataque del álabe de prueba pueda producirse en las condiciones de máxima acción, cualesquiera que sean los requisitos de caudal o de carga se logra así mantener un rendimiento elevado a diferentes valores de la potencia (ver fig. 2.4.).

En los casos en que el agua sólo circule en dirección axial por los elementos del rodete, tendremos las turbinas de hélice o Kaplan. Las turbinas Kaplan tienen álabes móviles para

adecuarse al estado de la carga. Estas turbinas aseguran un buen rendimiento aún con bajas velocidades de rotación.



**Figura 2.4** Componentes de la turbina Kaplan.  
(Fuente: E:\TECNOLOGIA DEL ESTADO BOLIVAR.html)

### Principales elementos:

➤ **Caja espiral o caracol**, facilita la variación de la cantidad de movimiento del agua que fluye a la corona de los álabes directrices, en muchos de los casos suele ser de concreto, debido a la gran capacidad de gasto que admite (ver fig. 2.4.).

➤ **Distribuidor**, regula el gasto de admisión y además imprime al agua el giro necesario, en una zona de vórtices libres que precede al rotor, propiciando el ataque adecuado del agua a los álabes para una transferencia de energía eficaz. Los álabes del distribuidor se ajustan, de acuerdo a las necesidades de la potencia.

➤ **Rotor de la turbina**, de forma de hélice, está constituido por un robusto cubo, cuyo diámetro es del orden del 40% al 50% del diámetro total al extremo de los álabes, en el cual van empotrados los álabes encargados de efectuar la transferencia de energía del agua al eje de la unidad. La robustez del cubo se justifica no solo por razones de resistencia mecánica sino también porque debe alojar en su interior el mecanismo de reglaje del paso de los alabes del rotor, los álabes del rotor tienen el perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal. El perfil de ala permite obtener una acción útil de agua sobre el álabe en el movimiento que aquella tiene respecto a éste.

➤ **Tubo de desfogue o difusor**, su función es recuperar la energía en virtud de su conicidad. Por su forma aerodinámica, reduce la turbulencia del flujo de agua, reduciendo de este modo las fluctuaciones del caudal.

### 2.3.5. Instrumentos de Control y medición.

Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de magnitudes (presión, caudal, nivel, temperatura, entre otros) en condiciones más idóneas de lo que haría el operador.

Se generaliza las aplicaciones de la medición, y se puede clasificar a los tipos de aplicación en tres categorías importantes:

- ✓ Monitoreo de los procesos y operaciones, se dan en situaciones en donde los aparatos de medición se usan para medir cantidades. (termómetros, barómetros, radares, entre otros).

✓ Control de los procesos y operaciones, se refiere a un sistema automático de control por retroalimentación; el principio de todos los sistemas de control por retroalimentación establece que se debe medir la variable que se desea controlar, compararla con un valor deseado y con base al error manipular al elemento final de control de tal manera que impulse la variable controlada a alcanzar el valor deseado.

✓ Análisis de ingeniería experimental, desarrollo e investigación de ingeniería que se apoya en pruebas de laboratorio de una clase u otra para dar respuesta a preguntas.

En estos tipos de aplicación existen elementos definidos como el elemento de medida, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador y elemento final.

La medición de caudal en la industria es de suma importancia, en la gran parte de los procesos existe la necesidad de controlar el caudal, pero para mantener este control lo primero que se debe hacer es medirlo. Existen diferentes técnicas e instrumentos para medir el caudal, la técnica a utilizar dependerá de la necesidad y condiciones en las cuales se esté.

El caudal es una indicación de qué tanto fluido en peso o volumen se está moviendo, o sea, qué tanta cantidad de fluido está pasando por un determinado punto dentro de un período específico de tiempo. Para realizar esta medición se utilizan los fluxómetros.

### **Medidores de Presión:**

➤ **Manómetros:** es un instrumento de medición usado para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los metálicos (ver figura 2.5.).

Los manómetros de líquidos emplean, por lo general, como líquido manométrico el mercurio, que llena parcialmente un tubo en forma de U. El tubo puede estar abierto por ambas ramas o abierto por una sola. En ambos casos la presión se mide conectando el tubo al recipiente que contiene el fluido por su rama inferior abierta y determinando el desnivel

**h** de la columna de mercurio entre ambas ramas. Si el manómetro es de tubo abierto es necesario tomar en cuenta la presión atmosférica **p<sub>0</sub>** en la ecuación:  **$p = p_0 \pm \rho gh$** .



**Figura 2.5.** Tipos de Manómetros (Piezómetro y Bourdon).

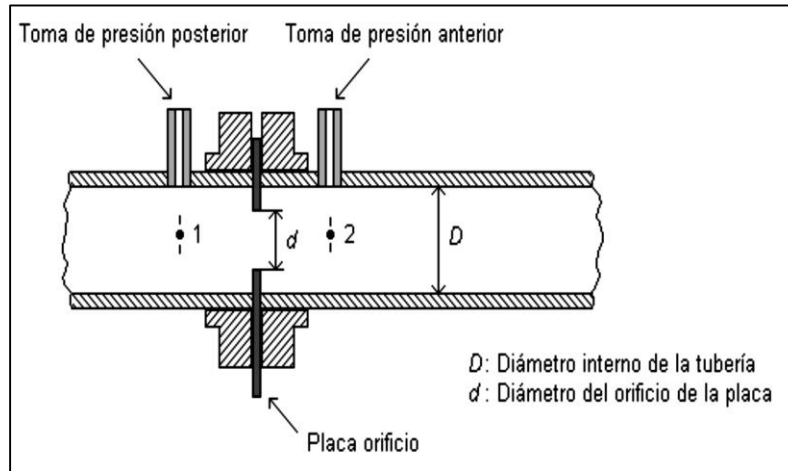
En los medidores de presión de tubo cerrado, la presión vendrá dada directamente por  **$p = \rho \cdot g \cdot h$** . Los manómetros de este segundo tipo permiten, por sus características, la medida de presiones elevadas.

En los manómetros metálicos la presión da lugar a deformaciones en una cavidad o tubo metálico, denominado tubo de **Bourdon** en honor a su inventor. Estas deformaciones se transmiten a través de un sistema mecánico a una aguja que marca directamente la presión sobre una escala graduada.

**Medidores Volumétricos:** se utilizan para determinar el caudal del fluido, ya sea directamente (desplazamiento) o indirectamente (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida y torbellino). Entre la gran variedad de estos dispositivos solo nombraremos:

➤ **Placa orificio o diafragma:** La placa orificio consiste en una placa perforada ubicada en el interior de una tubería. Posee además, dos tomas de presión, una en la parte

anterior y otra en la parte posterior de la placa, a las cuales se conecta un manómetro de presión diferencial (figura 2.6.).



**Figura 2.6.** Placa orificio o diafragma.

El orificio de la placa puede ser *concéntrico*, *excéntrico* o *segmental*. El *concéntrico* es el más comúnmente utilizado, se caracterizan porque la placa es circular y concéntrica con el tubo en el que va instalado, su exactitud es mucho mayor a la de los otros dos tipos de orificios. En el caso del *excéntrico*, el orificio en la placa es circular y tangente a la pared interna de la cañería en un punto. Se utiliza para fluidos con dos fases: vapor húmedo, líquidos que contienen sólidos, aceites que contienen agua, entre otros. El *segmental*, es un orificio en forma de segmento circular tangente en un punto a la circunferencia interna de la cañería. Es usada para fluidos barrocos con la ventaja que no acumula sólidos en el lado anterior a la placa.

➤ **Medidores de Caudal:** En el monitoreo y control de los procesos y operaciones, además en el análisis de ingeniería experimental es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Existen varios sistemas para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico. En la tabla 1.1., se detalla sistema, elemento, y transmisor.

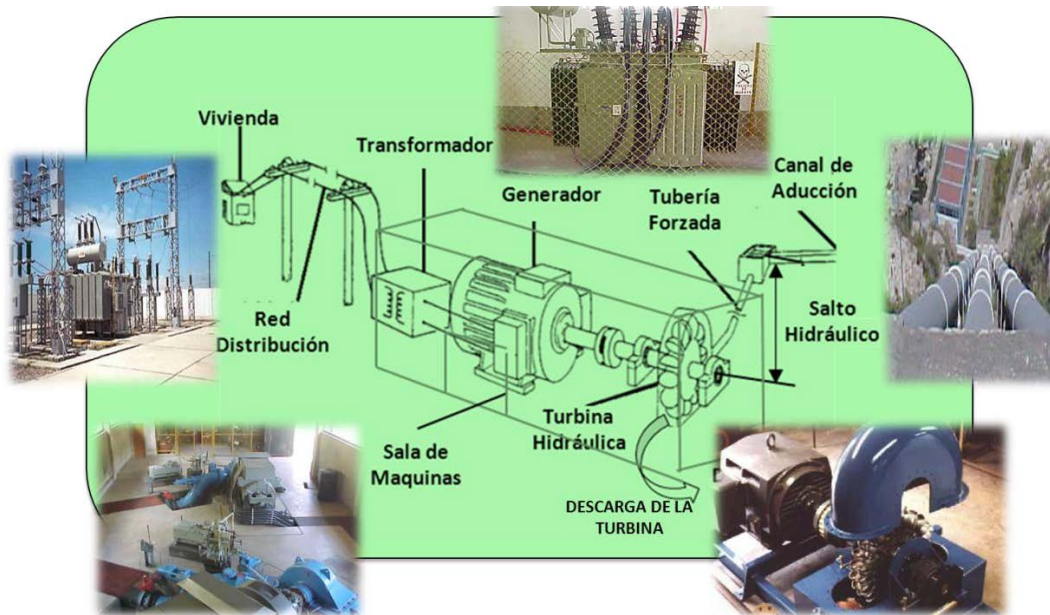
**Tabla 1.1. Métodos de Medición de Flujo**

| <b>Medidores Volumétricos</b>      |                                                                                      |                                                                       |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Presión Diferencial</b>         | Placa Orificio, Tobera<br>Tubo Venturi, Tubo Pitot<br>Tubo Annubar                   | Equilibrio de fuerzas<br>Silicio fundido                              |
| <b>Área Variable</b>               | Rotámetro                                                                            | Equilibrio de movimientos<br>Potenciométrico<br>Puente de impedancias |
| <b>Velocidad</b>                   | Vertedero con flotador en canales<br>abiertos, Turbina<br>Transductores ultrasónicos | Piezoeléctrico                                                        |
| <b>Fuerza</b>                      | Placa de impacto                                                                     | Equilibrio de fuerzas<br>Galgas extensométricas                       |
| <b>Tensión Inducida</b>            | Medidor Magnético                                                                    | Convertidor,<br>Potenciométrico                                       |
| <b>Desplazamiento Positivo</b>     | Disco Giratorio<br>Pistón Oscilante<br>Pistón Alternativo<br>Medidor Rotativo        | Generador tacométrico o<br>transductor de impulsos                    |
| <b>Torbellino</b>                  | Medidor de frecuencia de<br>termistancia o condensador de<br>ultrasonidos            | Transductor de resistencia                                            |
| <b>Medidores de Caudal de Masa</b> |                                                                                      |                                                                       |
| <b>Térmico</b>                     | Diferencia de temperatura en dos<br>sondas de resistencia                            | Puente de Wheatstone                                                  |
| <b>Momento</b>                     | Medidor axial<br>Medidor axial de doble turbina                                      | Convertidor de par                                                    |
| <b>Par giroscopio</b>              | Tubo giroscopio                                                                      | Convertidor de par                                                    |
| <b>Presión Diferencial</b>         | Puente Hidráulico                                                                    | Equilibrio de fuerzas                                                 |

### 2.3.6. Energía a partir del agua.

Un hidro-sistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura (conocida como salto) para producir Potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en la forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica en el eje. El esquema del sistema se puede ver en la fig. 2.7.

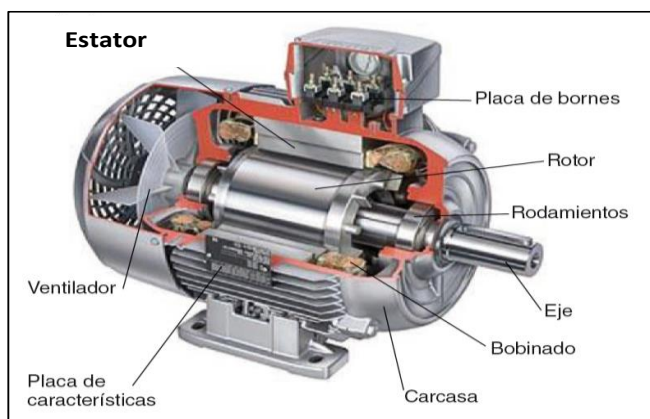
Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, pues una parte de la energía se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, etc.



**Figura 2.7.** Energía eléctrica obtenida a partir de una fuente hídrica.

### 2.3.7. Motor eléctrico.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. En la fig. 2.8., se muestran los componentes de un motor.



**Figura 2.8.** Componentes de un motor eléctrico.

### 2.3.8. El Generador eléctrico.

Es una máquina eléctrica que produce corriente alterna monofásica o trifásica. Convierte la energía mecánica entregada por la turbina en energía eléctrica. También se le conoce con el nombre de “alternador”.

Si se monta en el mismo eje de la turbina, el número de revoluciones de la turbina es igual al del generador. Los generadores pueden ser: síncronos (alternador) o asíncronos.

**El Generador síncrono:** Son los de mayor aplicación en las mini y micro centrales hidroeléctricas, pueden ser de ejes horizontal o vertical. El valor de rotación del eje ( $n$  en rpm) se halla en relación inversa con el número de polos (fig. 29- a).

$$n = 60 f / P$$

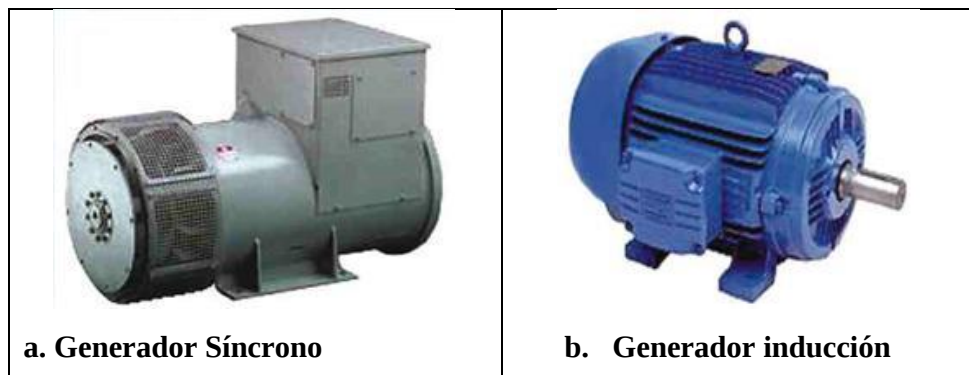
Dónde:

**f** : frecuencia en Hz

**P** : pares de polos

**n**: El número de pares de polos

**El Generador asíncrono o de inducción:** Aquellos que no cumplen la condición anterior; es decir,  $n = 60 f / P$ ; lo cual implica desfase entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético. Se los usa casi exclusivamente como motores. Los generadores usados en la centrales hidroeléctricas son síncronos con pares de polos que varían entre 2 y 48 y con  $n$  que varía entre 60 y 600 rpm (fig. 2.9- b).



**Figura 2.9.** Tipos de generadores Eléctrico.

### 2.3.9. Elementos de control y protección de generación.

**Instrumentos de medición:** Cuando se emplea la energía eléctrica, es necesario controlarla y conocer exactamente los valores de la tensión, corriente y potencia capaces de ser producidos por los generadores y absorbidos por los circuitos de operación.

- **Voltímetro:** Permite medir la tensión o voltaje. Se construyen con alta impedancia para ser conectados en paralelo, es decir, directamente a los bornes del aparato cuya tensión se desea medir.
- **Amperímetro:** Sirve para medir la intensidad de la corriente. La impedancia interna es muy baja, por lo que se conecta en serie con las cargas receptoras y nunca en paralelo porque podría producirse un cortocircuito.
- **Vatímetro:** Se usa para medir la potencia eléctrica. Está formada por dos bobinas; una voltimétrica y otra amperimétrica.
- **Frecuencímetro:** Mide la frecuencia de la tensión alterna. Existe formas constructivas: una con lengüetas vibrátiles y otra con aguja indicadora, ambas conectadas a la tensión.

### **Elementos de control y protección.**

#### **Protecciones primarias**

Son aquellas protecciones que serán las responsables de minimizar cualquier falla que pueda provocar daños de consideración al generador. Uno de los principales daños a detectar en el generador son los daños en los aislamientos de los devanados, tanto del estator como del rotor. Estos daños pueden deberse a diversos factores, como la ruptura del dieléctrico del aislamiento por sobretensiones, el calentamiento excesivo producido por sobrecorrientes y el envejecimiento del aislamiento. Las fallas en el aislamiento pueden provocar puestas a tierra de los devanados del rotor y/o estator y corto circuitos entre

espiras. Por lo cual las protecciones primarias están orientadas a controlar y detectar este tipo de fallas.

Entre las principales protecciones primarias, se encuentran los siguientes relés:

- Relé térmico,
- Relé de protección de puesta a tierra,
- Relé de protección diferencial,
- Relé de potencia inversa,
- Relé de sobretensión,
- Relé de pérdida de excitación,
- Relé de sobreexcitación.

### **Protecciones secundarias**

Son aquellas protecciones que tienen la función de servir como respaldo a algunas de las protecciones primarias o que no cumplen una función principal. Esto no significa que sean menos importantes. Se consideran principalmente dentro de este ámbito las siguientes protecciones:

- Relé de sobre corriente dependiente de tensión,
- Relé de pérdida de sincronismo,
- Relé de baja tensión,
- Relé de frecuencia.

## CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.

### 3.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo a la naturaleza del presente trabajo de grado, se pudiera enmarcar como un *Proyecto de Campo* bajo la modalidad del “*Proyecto Factible*”, definido por el Manual de Trabajo de Grado de la UPEL (2.008) de la siguiente manera:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnológicas, métodos o procesos.

El fin principal de este trabajo de grado se fundamenta en el desarrollo de una propuesta sustentable para la reactivación de los bancos de turbinas Kaplan, Pelton y Francis en el laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil-UC.

### 3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Conscientes de que los bancos de Turbinas a estudiar han estado paralizados por un largo periodo, se desconocen las condiciones en la que se encuentran los diferentes sistemas que lo conforman. Considerando los objetivos y limitaciones de la investigación, orientar el diseño de tipo **documental experimental de campo**.

La investigación se adecúa a un diseño **experimental** porque este tipo de investigación se realizará con diferentes experimentos para la comprobación y verificación del funcionamiento del banco de pruebas, logrando obtener una lista de datos y poder comprobar su funcionamiento. También es de **campo** debido a que se observarán y recolectarán información sobre los bancos de prueba actualmente en desuso del laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de Civil-UC, que concuerda con lo afirmado por Balestrini (2.006) “la investigación de campo permite no solo observar, sino recolectar los

datos directamente de la realidad del objeto en estudio, en su ambiente cotidiano, para posteriormente analizar e interpretar los resultados de estas indagaciones.”

### **3.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

De acuerdo con los objetivos propuestos en la investigación sobre la reactivación del banco de turbinas del laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la escuela de Civil-UC, se plantear el desarrollo de este trabajo de la siguiente forma:

**Primera Etapa: *Recolección de información y caracterización de los componentes que conforman los sistemas de los bancos de turbinas.*** En esta etapa se recolectarán y analizarán toda la información existente sobre los bancos de turbinas a estudiar (bibliografías relacionadas al tema, páginas en internet, entre otros) así como también la toma directa de datos y medidas de los equipos y sistemas que forman los bancos (turbinas, motores, bombas, manómetros y otros).

En esta etapa también se buscará caracterizar las partes de cada sistema que forman los bancos de turbinas, mediante la realización de planos de detalle, curvas de operación y diagramas de despiece. De este manera se busca contar con un material digitalizado de los banco de turbinas a partir de la poca información que se tiene sobre ellas.

**Segunda Etapa: *Diagnosticar el estado actual de cada sistema que forma los bancos de turbina.*** En esta etapa se revisará el estado actual de cada sistema que forma los bancos de turbina para posteriormente hacer un diagnóstico y el resultado de la revisión de los componentes que deben ser reparados, reemplazados o agregados.

Para dicho diagnóstico se debe desarmar, desacoplar y desconectar los sistemas que sean necesarios (mecánicos, hidráulicos, eléctricos y otros) con un procedimiento metódico bien definido, para evitar inconvenientes posteriores en su ensamblaje o rearme. Igualmente se espera contar con el asesoramiento profesional de Docentes y Técnicos de la U.C. e Ingenieros, mecánicos y electricistas que trabajan en la empresa estatal *Corpoelec*

y profesionales particulares con conocimiento en la materia, para un mayor desempeño y credibilidad del diagnóstico obtenido.

**Tercera Etapa:** *Elaborar una propuesta de reactivación de los bancos de turbinas y evaluar la factibilidad técnico-económica de dicha propuesta.* Para el desarrollo de esta etapa, se tomara en cuenta los resultados del diagnóstico que se elaborará en la etapa anterior. También se realizará un listado de materiales y equipos necesarios para implementar el diseño. Las cotizaciones se obtendrán visitando a proveedores o mediante consultas en la web, con esta información se evaluará la factibilidad económica del proyecto aplicando un modelo básico de rentabilidad, de tal manera que se manejen montos actuales para la ejecución de este proyecto en los próximos años.

**Cuarto Etapa:** *Elaboración del informe final y su defensa.* En base a los resultados se determinarán las conclusiones y recomendaciones para su posterior presentación.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.**

Las técnicas que se utilizarán para la recolección de información en el desarrollo de esta investigación serán las siguientes:

✓ **Técnicas de Observación:** consiste en la recolección de datos en forma visual del equipo a estudiar, seleccionando, organizando y relacionando los datos. Esta se utilizará en la presente investigación para conocer los pasos de operación, funcionamiento y las partes que constituyen los bancos de turbinas a través de la observación directa de otro sistema.

✓ **Técnica de Investigación Bibliográfica:** se basa en obtener, consultar y recopilar datos para el estudio, seleccionando los aspectos más relevantes; se empleará para recaudar información en diversas publicaciones sobre el tema.

✓ **Acasaramiento técnico:** consistirá en el acompañamiento de especialista en el área o sistema del banco en el que se piensa trabajar. Dicho personal pertenecen a las siguientes instituciones: Universidad de Carabobo, Corpoelec y Empresas particulares.

### 3.5. RECURSOS.

Los materiales que se emplearán en la obtención y almacenamiento de datos para el desarrollo de la presente investigación serán los siguientes:

✓ Computador personal con Software comerciales y de dibujo (Microsoft Office, AutoCAD 2008, Internet Explorer y otros). Equipo utilizado para organizar, almacenar, procesar y estructurar información obtenida durante la investigación. Entre sus accesorios, cabe destacar: Scanner, impresora y otros.

✓ Cámara Fotográfica Digital: equipo de apoyo para la toma de imágenes del proceso a estudiar y posteriormente insertar al trabajo especial de grado.

✓ Calculadora científica y material de oficina (papel blanco, bolígrafo, grapas y otros).

Entre las herramientas que se requerirá para el desarrollo de la investigación están los siguientes (tabla 2):

**Tabla 1.2.** Herramientas requeridas para el desarrollo de la investigación.

| HERRAMIENTAS                           |                                             |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Cinta Métrica, metálica de 5 m         | Calibradores de lámina métrico              |
| Destornillador de cruz mediano         | Mandarria de 4 Oz (pequeña)                 |
| Destornillador plano mediano           | Lima plana 10"                              |
| Vernier de 6"                          | Contador de dientes para roscas             |
| Alicate de presión de quijada recta 7" | Prensa de Banco                             |
| Llave ajustable 12", Cap. 11 . 11/32"  | Juego de llave Allen 5/64"- 3/16"           |
| Segueta manual                         | Barra palanca de 16"                        |
| Juego de Llave de boca 3/4 - 1. 1/2"   | Extractor tipo tornillo de 3 patas, Cap. 6" |
| Esmeril de 4 1/2 "                     | Carrucha de 4 ruedas, Cap. 100 kg           |
| Llave de corona 30- 32 mm              | Solución mecánica desoxidante               |
| Llave de tubo 12", Cap. 2"             | Mecates de nylon de diámetro 3 /4"          |
| Señorita diferencial Cap. 1,5 ton      | Espátula 4"                                 |
| Cinceles punta plana de 1/2"           | Cepillo con celdas de alambre               |

## CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

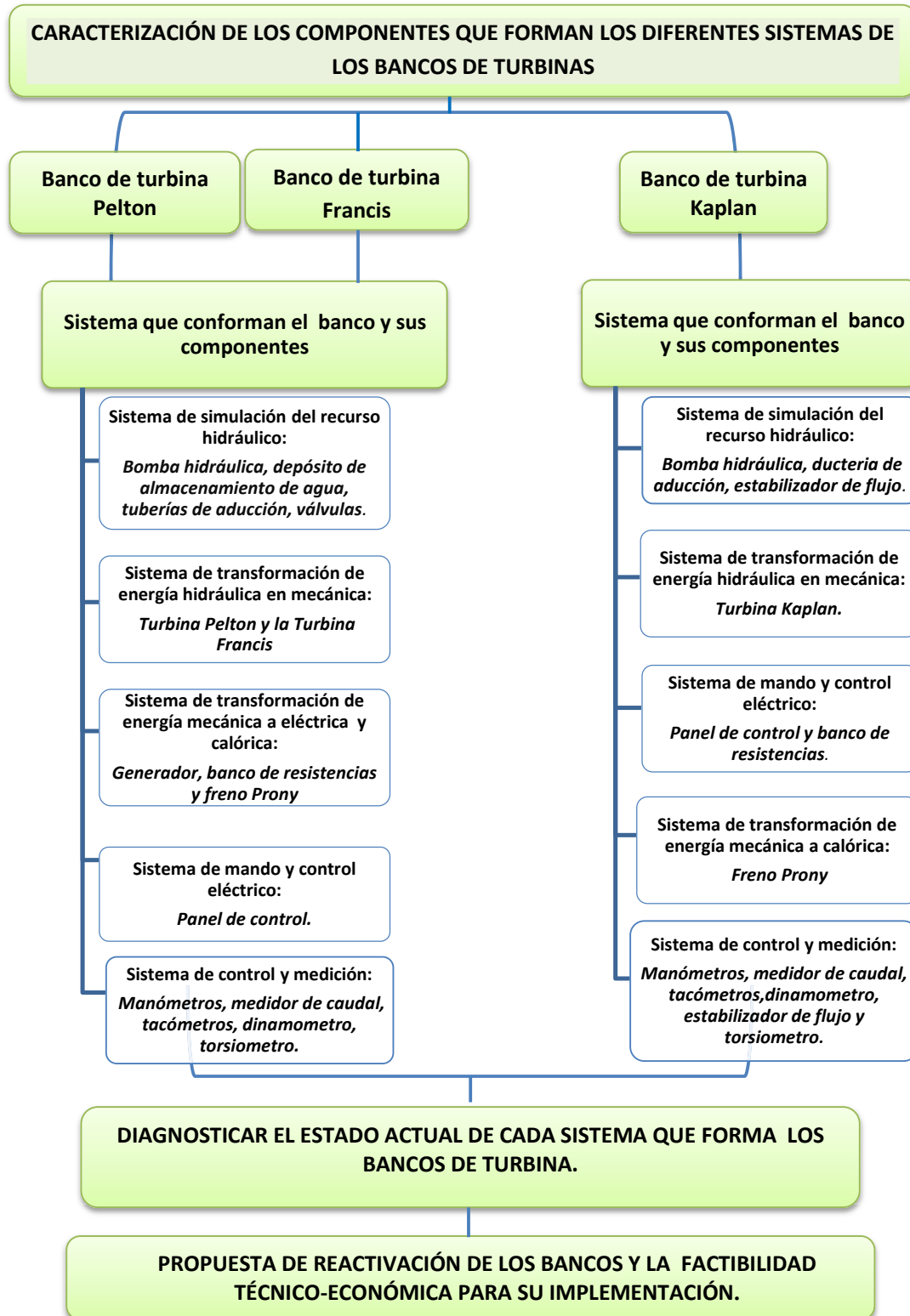
### 4.1. INTRODUCCIÓN.

Para el desarrollo de la investigación, se mantendrá el mismo orden que se establecieron en los objetivos específicos en el primer Capítulo. Inicialmente, se *caracterizarán los componentes de los diferentes sistemas que conforman los bancos de turbinas Pelton, Francis y Kaplan*, del laboratorio de hidráulica de Civil-U.C. Para la caracterización de los bancos en estudio se utilizarán diagramas esquemáticos, planos descriptivos, imágenes fotográficas, curvas de funcionamiento de las turbomaquinas y equipos de medición, entre otros recursos que contribuyan en la descripción.

Una vez cubierto el primer objetivo, se procederá a diagnosticar el estado en el que se encuentra cada sistema, incluyendo los resultados de la revisión y recomendaciones para la recuperación de los diferentes componentes de los bancos (segundo objetivo).

Seguidamente, se elaborará una propuesta de reactivación de los bancos de turbinas, de acuerdo a los criterios de selección más convenientes como el *tiempo, costo*, tecnología y otros. Igualmente se indicaran los componentes y equipos (agregando las especificaciones técnicas) que deben ser *reparados, reemplazados o agregados*. Finalmente, se propondrá de manera cronológica, las actividades a realizar para la recuperación de los bancos de turbinas (tercer objetivo).

En cuanto a los análisis de *Factibilidad técnico-económico* (cuarto objetivo), se realizará el estudio de los *Costos de inversión* de los materiales, equipos y mano de obra que se requiere para la ejecución de la propuesta de reactivación. A continuación se presentará un esquema de actividades para el abordaje de este capítulo (Figura 4.1.).



**Figura 4.1** Esquema de desarrollo para el Análisis de Resultados.

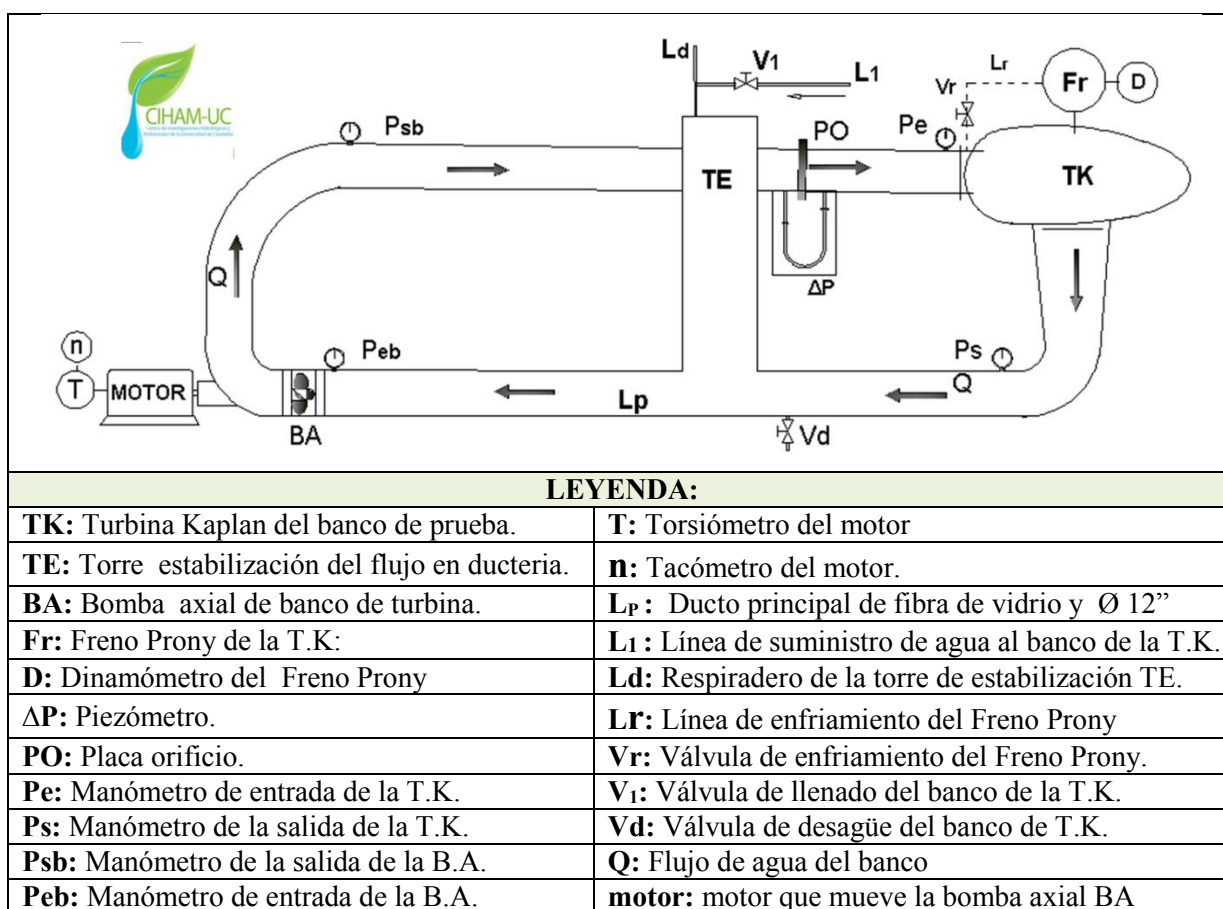
## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES DE CADA SISTEMA QUE FORMAN LOS BANCOS DE TURBINAS.

### 4.2.1. BANCOS DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN.

#### 4.2.1.1. Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica en el banco de turbina Kaplan.

#### Descripción y análisis del circuito del sistema hidráulico del banco de turbina Kaplan.

En la fig. 4.2., se presenta el **Diagrama esquemático** del banco de turbina Kaplan del laboratorio Civil-UC. y en el Anexo N° 14, se puede observar un plano descriptivo de dicho banco.



**Figura 4.2.** Diagrama esquemático del banco de turbina Kaplan del laboratorio Civil-UC. **Fuente:** Propia.

En el Diagrama esquemático mostrado anteriormente, el agua requerida para el uso del banco, es suministra a través de la línea  $L_I$  y es controlada por la válvula  $V_I$ , ambas están ubicados en la parte superior del *Estabilizador de flujo TE*. El Estabilizador de flujo presenta una línea vertical  $L_d$ , que está abierta a la atmosfera y es usada como respiradero o para liberar las bolsas de aire atrapadas en la ducteria durante el llenado y realización de las pruebas en el banco de turbina Kaplan.

Las válvulas  $V_a$ , controla el desagüe del sistema de tubería del banco de la turbina Kaplan. Los *Manómetros Pe* y *Psb* miden la presión en la entrada de la turbina y salida de la bomba axial. *Ps* y *Peb* son *Vacúómetros*, miden presiones negativas (vacío).

En el tramo de tubería que da a la entrada de la turbina se encuentra instalado una *Placa orificio PO*, conectadas a un *banco Piezómetro de Hg*. Con este elemento (*PO*) se produce una caída de presión  $\Delta P$ , que se lee de forma directa en el piezómetro.

La turbina Kaplan esta provista de un *Freno Prony Fr* y un *Dinamómetro* de resorte  $D$ , para medir la **Potencia en el eje** durante los ensayos. Presenta un sistema de refrigeración por agua  $L_r$ , que evita el recalentamiento de los sellos y rodamientos de la turbina.

La *bomba* que transmite la energía al agua es de flujo axial, la cual expulsando el fluido por su parte trasera, que luego es conducida por la ducteria a la entrada de la turbina. La bomba es movida por un *motor* eléctrico de 30 hp, que tiene instalado un tacómetro  $n$  y un torsiómetro  $T$  (ambos analógicos), que censan las rpm y el par torsor de este equipo.

### **Caracterización de la Turbina Kaplan (nominales).**

Para la recopilación de las características y parámetros de funcionamiento de la turbina Kaplan, se usaron los siguientes recursos:

- Las medidas tomadas directamente en el equipo durante el **Levantamiento dimensional** y el posterior análisis de dicha información.

- Las **Certificaciones** de los equipos entregadas por el fabricante del banco (*GILKES & GORDON LTD*), donde se tomaron valores de caudal, altura hidráulica y velocidad de giro, todos referidos al *Punto nominal* (Anexo N° 1).
- La **Placa de especificaciones técnica** de la turbina Kaplan, con la que se comprobó la veracidad de los datos presentados en las copias de especificaciones y presupuesto.
- Las **Curvas características** a diferentes aperturas del distribuidor al igual que el diagrama universal de la misma. Estas curvas pertenecen al manual del fabricante del banco de pruebas de turbinas en estudio (solo algunas copias).
- **Modelos de bancos de turbinas** similares que existen en otras Universidades (Escuela superior politécnica del Chimborazo, Ecuador).

En la tabla 4.1., se presentan los valores característicos que describen la **turbina Kaplan** de este banco de turbina.

Para conocer el Número específico de revoluciones (***Ns***) de la turbina Kaplan, se tomarán los valores de caudal, altura y R.P.M. recopilados en la tabla 4.1. A continuación se calcularán dichos valores:

- **Número específicas de revoluciones (*Ns*):**

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P_{eje}}}{\sqrt[4]{H n^5}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Dónde:

**N:** Velocidad de giro = 1070 rpm

**Peje:** Potencia al eje = 3,56 = 3,64 CV

**Hn:** Salto neto = 10 ft = 3,05

$$N_s = \frac{1070 \cdot \sqrt{3,64}}{\sqrt[4]{(3,04)^5}} = 509$$

Como: **450 < Ns = 509 < 900** => se considera una la **Turbina Kaplan**. (Mataiz, pag. 375. Editorial ICAI)

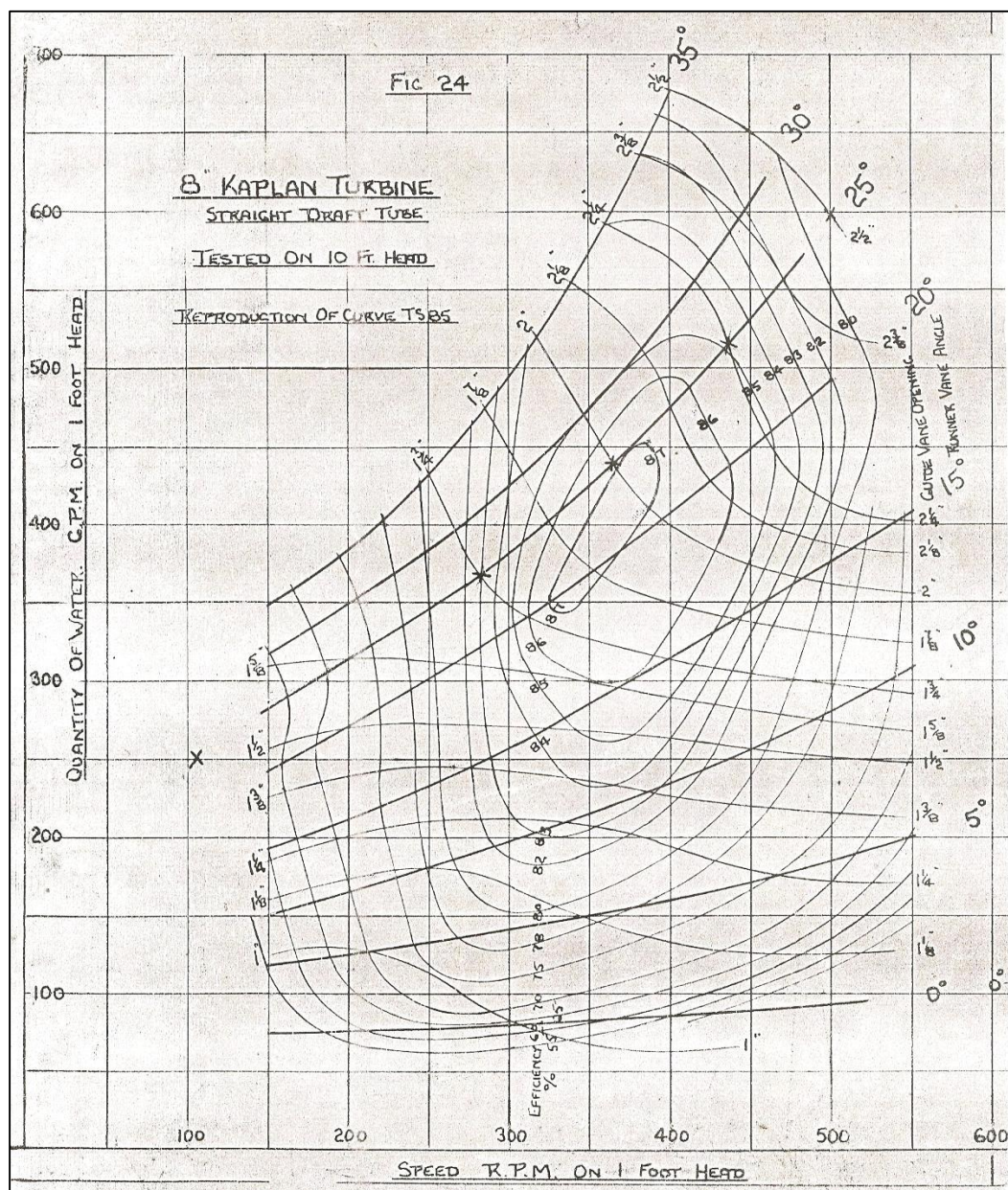
**Tabla 4.1.** Caracterización de la turbina Kaplan del laboratorio de Hidráulica Civil- U.C.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                     |                               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p align="center"><b>CARACTERIZACIÓN DE LA TURBINA<br/>KAPLAN DEL LABORATORIO DE<br/>HIDRÁULICA CIVIL- U.C.</b></p> |                               |  |
| <b>Marca:</b> GILKES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Serial:</b> 5960                                                                                                 | <b>Año fabricación:</b> 1.960 |                                                                                     |
| <p>Turbina tipo <b>Kaplan</b> con <i>Distribuidor cilíndrico</i> tipo <i>Fink</i> con <i>álabes giratorios</i>.</p> <p>Carcasa de <b>Hierro fundido</b> con diámetro aproximado de 1,1 m.</p> <p>Eje de acero Inoxidable de posición vertical. Rodete, álabes y punta cónica de <b>Bronce</b>.</p> <p>Salto o altura Nominal (<b><i>H<sub>n</sub></i></b>) = 10 Ft = 3.04 m.</p> <p>Caudal Nominal(<b><i>Q<sub>n</sub></i></b>)= 1470 GPM = 0,0926 m<sup>3</sup>/s.</p> <p>Potencia al Freno (<b><i>Peje</i></b>) = <b>3,56 hp =2,65 kW</b>.</p> <p>Velocidad de giro (<b><i>N</i></b>) =<b>1070 RPM</b>.</p> <p>Número específicas de revoluciones (<b><i>N<sub>s</sub></i></b>) = <b>509</b>.</p> <p>Diámetro del Impulsor de la turbina = <b>8" = 203.2 mm</b></p> <p>Número de álabes del rodete (<b><i>Z</i></b>) = 4.</p> <p>Diámetro del rodete del Impulsor = <b>3 ½" = 90 mm</b></p> <p>Número alabes distribuidor o paletas móviles = <b>8</b>.</p> <p>Aperturas del distribuidor de la turbina = <b>1"- 1 1/8"- 1 1/4"-1 3/8"- 1 1/2"- 1 5/8"- 1 3/4"- 1 7/8"- 2"- 2 1/8"- 2 1/4"- 2 3/8"-2 1/2"</b>.</p> <p>Diámetro de entrada de la turbina = <b>15" =381 mm</b></p> <p>Diámetro salida de la turbina = <b>8 1/4" =209.5 mm</b></p> <p>Número de paletas fijas de la carcasa (<b><i>Difusores</i></b>) = <b>8</b></p> <p>Ángulos de giro de los álabes del rotor = <b>-5°, 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30° y 35°</b>.</p> <p>Distancia entre ejes de los alabes móviles del distribuidor = <b>12" =305 mm</b></p> <p>Altura de los alabes del distribuidor = <b>4" = 101,8 mm</b></p> |                                                                                                                     |                               |                                                                                     |

**Fuente: Propia.**

### Curvas Características de la Turbina Kaplan.

En la fig. 4.3, se presenta la curva de **Iso-eficiencia** de la turbina Kaplan Gilkes 5960. En ella se puede obtener el **caudal** a una determinada **velocidad** o rpm, a diferentes **ángulos de las hélices** del rodete y **Apertura de las paletas móviles del distribuidor**. Otra curva con un ángulo de la hélice fijada en 25 ° (Ver Anexos N° 2).

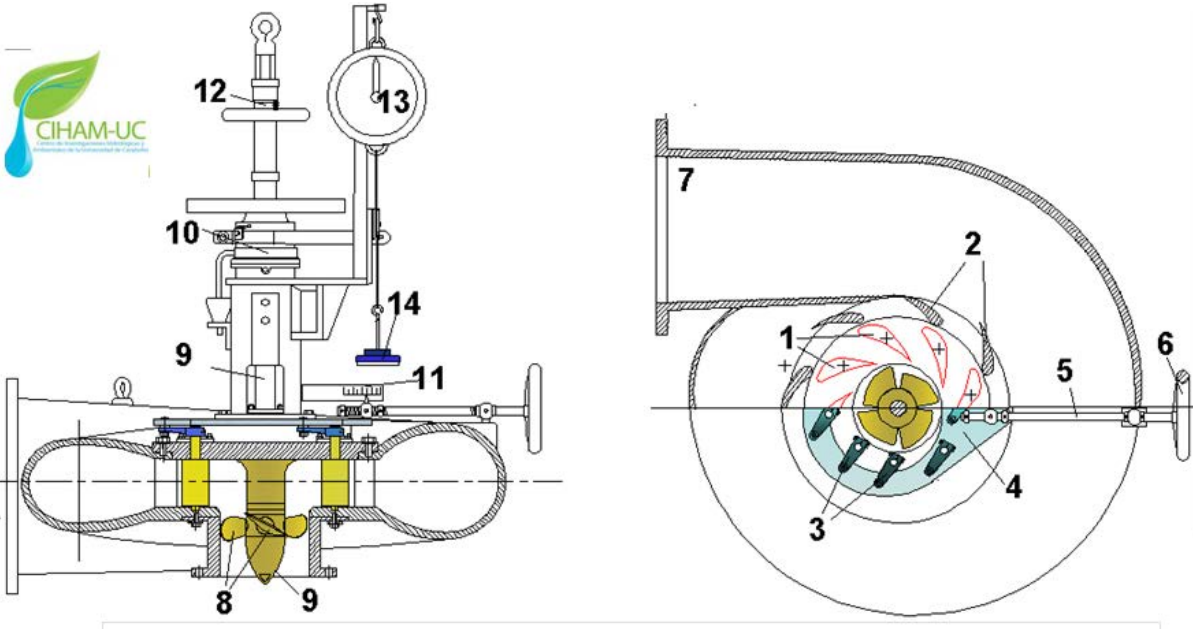


**Figura 4.3.** Curva Característica de la turbina Kaplan 5960, a 10 Ft de altura  
**Fuente: Gilkes**

### Componentes de la Turbina Pelton del Banco de turbinas Pelton-Francis.

Los componentes de la turbina Kaplan Gilkes 5960, debidamente identificado se pueden ver en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Componentes de la turbina Kaplan Gilkes 5960 del Banco de Prueba.

|  |                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| COMPONENTES DE LA TURBINA KAPLAN                                                    |                                                 |
| 1. Aletas móviles del distribuidor,                                                 | 8. Hélices de la turbina,                       |
| 2. Aletas fijas a la Carcasa,                                                       | 9. Eje de la turbina,                           |
| 3. Bielas del distribuidor,                                                         | 10. Freno Prony de la turbina,                  |
| 4. Anillo regulador del distribuidor,                                               | 11. Quía graduada de apertura del distribuidor, |
| 5. Vástago del anillo regulador,                                                    | 12. Tambor graduado para el giro de los alabes, |
| 6. Volante del anillo regulador,                                                    | 13. Dinamómetro,                                |
| 7. Carcasa de la turbina,                                                           | 14. Masas para el freno Prony.                  |

Fuente: Propia.

- **Carcasa de la turbina y Aletas fijas a la Carcasa:**

La **Carcasa (7)** de la turbina Kaplan está hecha de *Fundición de hierro* y tiene como función conducir el agua por toda la periferia del rodete con ayuda por las *Aletas fijas o Difusor* (ver tabla 4.2.). La carcasa presenta **ocho (8) paletas o alabes fijo**, de perfil aerodinámico (2), con el fin de reducir las pérdidas en la entrada al distribuidor.

La carcasa está montada en posición horizontal, con un diámetro nominal en la entrada de **15"** y en la salida tiene un diámetro de **8 1/4"** (entrada del tubo de aspiración).

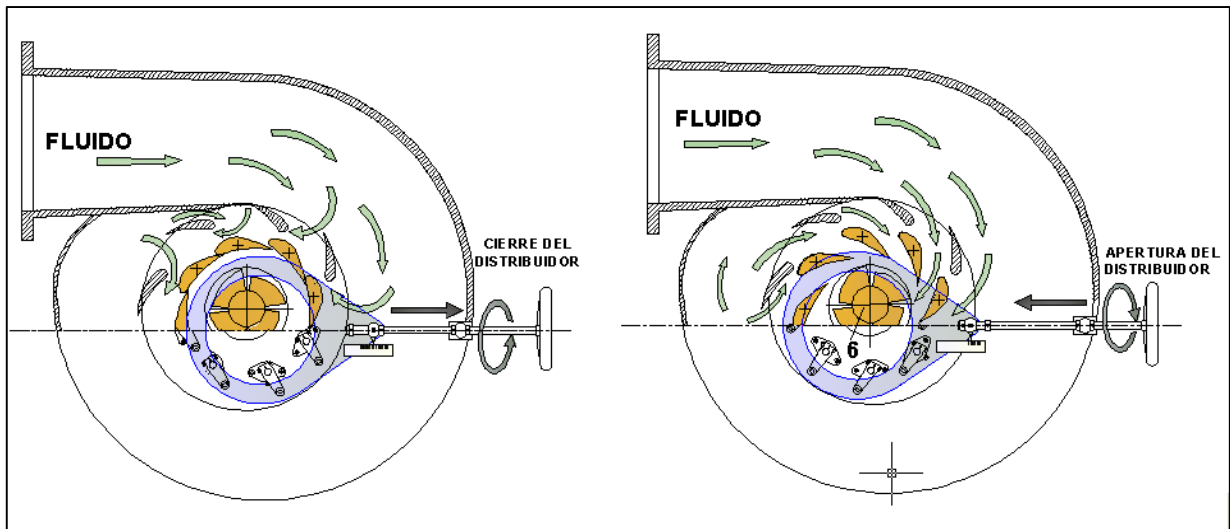
- **Aletas móviles del distribuidor:**

Son los alabes móviles directrices que conforman el *Distribuidor* de la turbina Kaplan, cuya función es orientar y controlar el caudal que entra en el rodete y puede variar entre 10 a 21 paletas.

La turbina Gilkes 5960 presenta un **Distribuidor tipo Fink**, conformado por *ocho (8)* alabes móviles con perfil de *curva positiva* y distribuidas alrededor del rodete en forma cilíndrica (ver tabla 4.2.). Estas paletas están controladas por un **Anillo regulador (4)** que las hace girar a todas simultáneamente a través de un mecanismo formado por **bridas, bielas y manivelas (3)**. Todos estos elementos están conectados entre sí por pequeñas pasantes provistos de engrasadores (axialmente) y por tornillos (radialmente).

Cabe resaltar los siguientes aspectos del distribuidor de la turbina Gilkes 5960:

- ✓ La turbina presenta un distribuidor cilíndrico de álabes giratorios, que pueden ser movidos manualmente a través del Volante regulador (6).
- ✓ La entrada del agua a la turbina se controla al *girar el Volante regulador*, que hace desplazar la Quía del volante (11) y a su vez el anillo regulador que a través del mecanismo de *bielas y manivelas (3)* cierran o abren las paletas móviles del distribuidor. El funcionamiento se puede ver en la fig. 4.4 y las posiciones de apertura del distribuidor son las siguientes: 1"- 1 1/8"- 1 1/4"- 1 3/8"- 1 1/2"- 1 5/8"- 1 3/4"- 1 7/8"- 2"- 2 1/8"- 2 1/4"- 2 3/8"- 2 1/2".



**Figura 4.4.** Funcionamiento del distribuidor de la turbina Kaplan.

- **Tambor graduado para el giro de los alabes:**

Es el dispositivo diseñado para regular los alabes o Hélice de la turbina Kaplan desde el exterior de la turbina. Está constituido por dos partes: **el cilindro graduado** y el **tambor ajuste**. Como se puede observar en la figura 4.5, el tambor marca  $35^\circ$ , que es el ángulo que tienen los alabes de la turbina con respecto al eje.



**Figura 4.5.** Tambor graduado para el giro de los alabes de la turbina Kaplan.

#### 4.2.1.2. Sistema generador de recirculación hidráulico en el banco de turbina Kaplan.

Para la caracterización de este Sistema, se trabajará con los dos (2) principales componentes que lo conforman: *La Bomba de flujo axial* y *la Ductería del banco*.

## La Bomba de flujo axial.

### ➤ Características de Funcionamiento Bomba hidráulica.

Para la recopilación de las características y parámetros de funcionamiento de la bomba, se usaron inicialmente los siguientes recursos:

- La **Placa de especificaciones técnica** de la Unidad Motora (marca **SCOTT AXIAL**), donde se encontraron los siguientes valores: Potencias al eje, tensión, tipo de corriente, frecuencia, entre otros.
- Las medidas tomadas directamente en el equipo durante el **Levantamiento dimensional** y el posterior análisis de dicha información.

Del material anteriormente nombrado, se obtuvieron los siguientes datos sobre la bomba axial (tabla 4.3):

**Tabla 4.3.** Valores de la Bomba Axial del banco de turbina Kaplan.

| Datos técnicos de la <b>Bomba Axial</b> del banco de turbina Kaplan. |                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Caudal Nom. ( <b><math>Q_n</math></b> )= 2100 GPM                    | $\varnothing$ entrada = $\varnothing$ salida= $\varnothing$ Impulsor = 10" |
| Altura Nom. ( <b><math>H_n</math></b> ) = 10 Ft = 3 m                | Velocidad de giro( <b><math>N</math></b> ) = 1450-1800 rpm                 |

Para la verificación de esta información extraída de las *Copias de especificaciones y presupuesto GILKES & GORDON LTD* y la obtención de otras, se usaron las siguientes curvas:

- El **Catálogo de Curvas** para la selección de bombas axiales marca **GOULDS PUMPS AF**, en donde se podrá observar y analizar los rangos de funcionamiento (caudal y altura) de la familia de bombas axiales de dimensiones iguales a la estudiada en el banco (ver Anexo N° 3).

- **Curvas característica** de Bombas axiales de marca **FPI PUMPS** serie AF 10-10-1180, 10" x 10"- 10", cuatros (4) hélices y una velocidad de giro de 1180 rpm (ver Anexo N° 4).

Es importante destacar que se usaron las curvas de funcionamiento de bombas de casas fabricantes diferentes a la estudiada, ya que ***no se cuenta con las curvas de la bomba axial del banco de turbina Kaplan***, cuya marca es ALLEN CWMYNNES, empresa de la cual no se obtuvo ninguna *información*.

En el Catálogo de curvas **GOULDS AF Pump**, se puede observar que la familia de bombas **10x10-10**, maneja caudales que varían desde **1800 a 4000 gpm**, para elevarlos a una altura que va desde **12 a 18 m**.

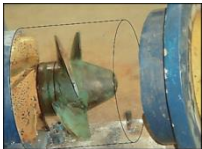
A pesar de que las Curvas característica **A, B y C** de bombas axiales **FPI PUMPS**, no indican **el ángulo de inclinación de las aletas**, son de gran ayuda para la obtención de valores de funcionamiento de referencia y la elaboración de las **Curvas características** de la bomba axial y la turbina Kaplan de este banco.

Utilizando el valor del caudal nominal de la bomba en estudio (**Q = 2200 gpm**) intersectamos las curvas **A, B y C** ( Anexo N° 4) y la altura hidráulica que coincidió con la bomba del banco ( $H_n=10$  ft), fue la curva **A** cuya **Eficiencia** es de 73% y una **Potencia al eje** de 7,5 hp.

En la tabla 4.4, se presentan los parámetros de diseño y funcionamiento de la unidad motora y la bomba axial del banco de turbina Kaplan.

Las **hélices de la bomba axial son móviles** con el objetivo de que cuando se cambie la inclinación de las mismas, cambien también los parámetros de funcionamiento (**Q, H, Potencia y  $\eta$** ) de la bomba, así como también los de la turbina Kaplan. Esto representa una gran ventaja ya que se pueden realizar **curvas experimentales del funcionamiento de la bomba axial** como parte de las pruebas que se pueden efectuar en el banco de prueba.

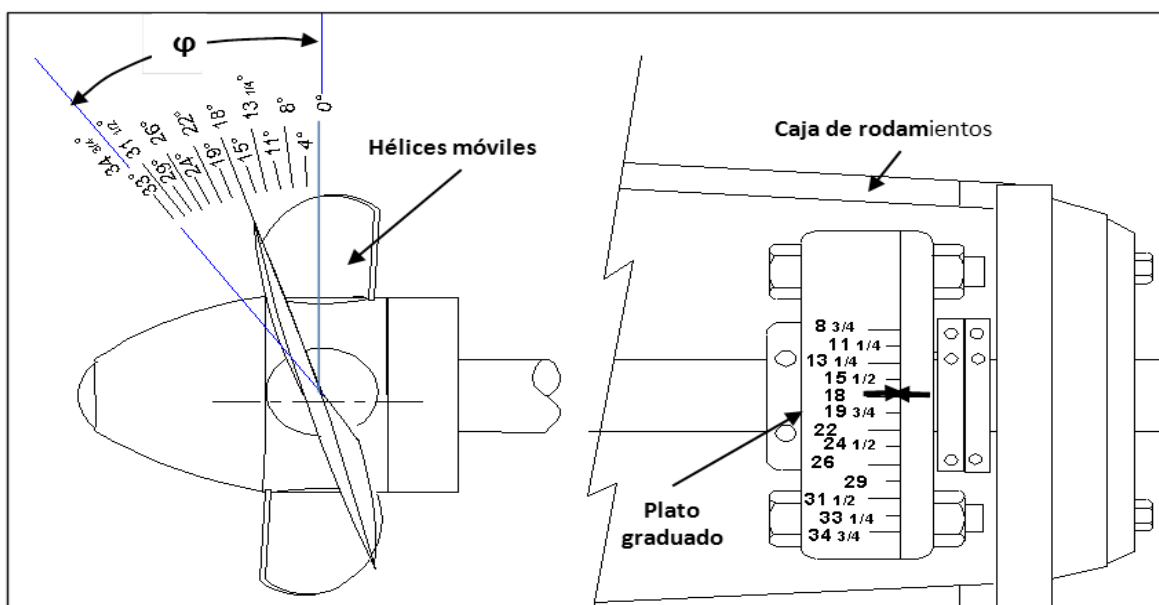
**Tabla 4.4.** Características de Funcionamiento de la Bomba Axial del banco de Turbinas Kaplan.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|  <p style="text-align: center;"><b>Caracterización de la Bomba Hidráulica del banco de Turbina Kaplan del Laboratorio de Hidráulica.</b></p>  |                                                                     |
| Unidad de Bombeo: <b>ALLEN CWYNNEs, Tipo DX.121</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | Unidad Motora: <b>SCOTT AXIAL</b>                                   |
| <b>Serial: 5963</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Serial: 239-760</b>                                              |
| Bomba de flujo Axial tipo Kaplan o de Hélice, con eje horizontal                                                                                                                                                                                                                                                  | Motor Asíncrono trifásico auto-excitado de Corriente alterna (AC)   |
| Caudal Nominal( $Q_n$ )= 2100 GPM = 0,1323 m <sup>3</sup> /s                                                                                                                                                                                                                                                      | Potencia al Freno (Peje)= 30 Hp                                     |
| Altura Nominal( $H_n$ ) = 10 Ft = 3 m                                                                                                                                                                                                                                                                             | Motor con Armazón abierto                                           |
| Velocidad de giro( $N$ ) = 1450-1800 RPM                                                                                                                                                                                                                                                                          | Tensión = 380 / 420 Volt                                            |
| Eficiencia en el Punto nominal= 73%                                                                                                                                                                                                                                                                               | Sentido de giro Motor = Horario                                     |
| Potencia al Freno( $P_{eje}$ )= 7,5 hp                                                                                                                                                                                                                                                                            | Frecuencia=50 Hz                                                    |
| Potencia mínima motor recomendada = 20 hp                                                                                                                                                                                                                                                                         | Revoluciones (variable) = 0-1800 RPM                                |
| Diámetro del Rodete = 10" = 254 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                | Intensidad de corriente = 49 Amp.                                   |
| Numero de Hélices del rodete (Z) = 4                                                                                                                                                                                                                                                                              | Potencia aparente kVA = Sin registro                                |
| Angulo de giro de las hélices = 8,75° a 34,75°                                                                                                                                                                                                                                                                    | Aislamiento Clase <b>E</b><br>Temperatura máx. admisible de 120° C. |
| N° alabes del Difusor(fijos) = 5                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Tensión en el Rotor = 285 Volt                                      |
| Diámetro Succión = Diámetro descarga= 10"                                                                                                                                                                                                                                                                         | Amperaje en el Rotor = 49,5 Amp                                     |
| Diámetro de Succión =10"                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Corriente de excitación = <b>Sin registro</b>                       |
| Eje de acero inoxidable                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tensión de excitación = <b>Sin registro</b>                         |
| Hélices, cubo y punta cónica de bronce                                                                                                                                                                                                                                                                            | Rating = 1 Hora                                                     |
| Cuerpo de Acero fundido(curva de descarga)                                                                                                                                                                                                                                                                        | Lubricación con Grasa.                                              |
| Estoperas de grafito y carbon                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |
| Cojinetes Tuffnel, lubricados por agua                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                     |
| Sentido de giro impulsor = Horario                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                     |

**Fuente: Propia.**

Presenta cuatro (4) hélices de bronce, que están distribuidas equidistantemente sobre el *cubo* de la bomba y tienen como función transmitir la energía hidráulica al fluido. Estas hélices se les cambian o regulan el ángulo de inclinación con respecto al eje desde **1 8,75°** a **34,75°** desde la *caja de rodamientos* (ver fig. 4.6.), girando el *plato graduado* con los ángulos.

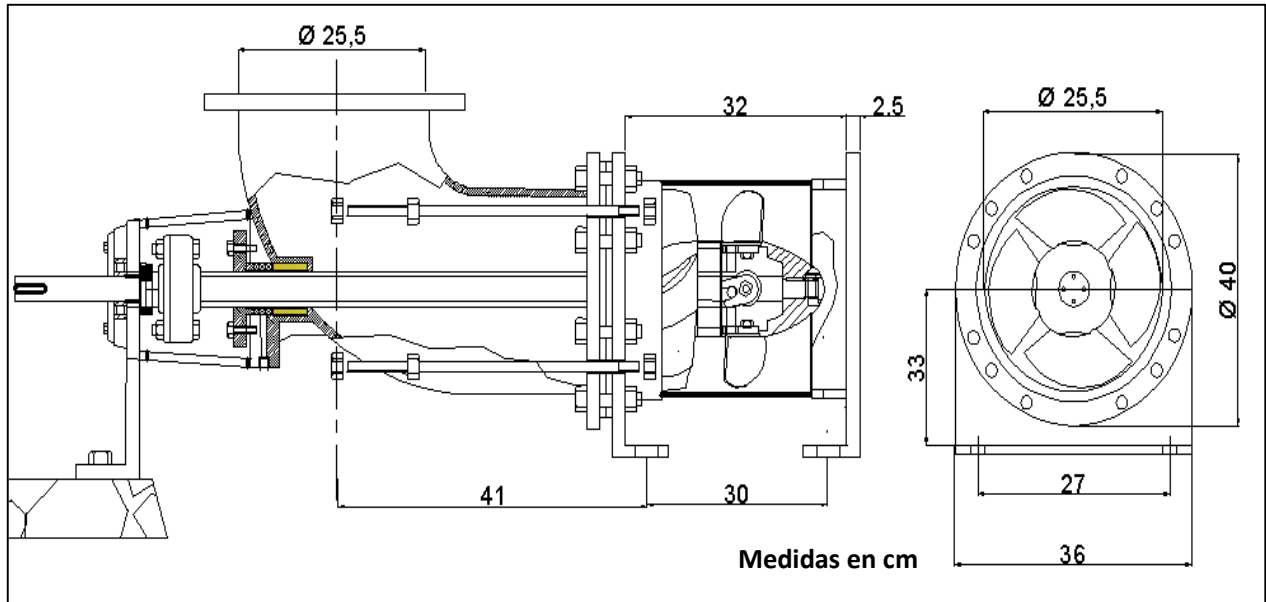
El rodete de la bomba axial 5963, gira en **sentido horario** (apreciación que se hace cuando se está parado de frente al motor) al igual que el eje del motor, produciendo que el agua fluya hacia la parte de atrás del hélice. Esto indica que la *succión* de la bomba esta delante del rodete y la descarga en la parte trasera. Está protegido por un cilindro de *vinil transparente* para altas presiones de 8 mm de espesor, con diámetro de 10  $\frac{3}{4}$ " y 8" de largo, cuyo objetivo es permitir la visualización del proceso de bombeo y poder medir las revoluciones del con la ayuda de una **lámpara estroboscópica** durante los ensayos.



**Figura 4.6.** Alabes o hélices móviles de la bomba Axial 5963 del banco de turbina Kaplan.

A la salida de la bomba axial (parte trasera), se encuentra el *Difusor o aletas fijas*, como se puede apreciar en la figura 4.7, el cual tiene forma aerodinámica cuya función es reducir la turbulencia de la corriente de agua que pudiera afectar el rendimiento de la bomba y a su vez como cojinete de apoyo al *eje* dentro de la *curva o codo*. Está compuesto por cinco (5) hélices de *fundición de hierro*.

A continuación se muestra un plano acotado de la bomba de flujo axila del banco de la turbina Kaplan (fig. 4.7.).



**Figura 4.7.** Plano descriptivo de la bomba de flujo axila del banco de la turbina Kaplan.

### Ductería del banco.

La tubería del banco, tiene como función conducir, almacenar y proveer el agua durante las pruebas, así como también conectar los elementos que conforman el circuito cerrado del sistema, uniendo la *bomba axial*, la *turbina*, la *chimenea estabilizadora*, entre otros.

En la fig.4.8, se pueden apreciar el sistema de tubería usada para conducir el agua en el banco de turbina Kaplan, con sus respectivas dimensiones. Cuenta con aproximadamente **17 m** de tubería de **PRFV** (fibra de vidrio) con un diámetro promedio de **30 cm**. Para el cálculo del volumen total del banco, se usará las dimensiones que se presentan en dicha figura. A continuación se hará el *cálculo tipo* del volumen del Tubo N° 1:

Ecuaciones usadas

$$Vol\ cil = \pi d^2 h / 4$$

Para la tubería cilíndrica. *Ecuación 4.2.*

$$Vol\ cono = \frac{\pi h_1 (r^2 + Rr + R^2)}{3}$$

Para la tubería cónica de base circular. *Ecuación 4.3.*

Dónde:

**Tubería cilíndrica**

$$d = 0,3 \text{ m}$$

$$h = 0.137 \text{ m}$$

**Tubería cónica**

$$R = 0,15 \text{ m}$$

$$r = 0,19 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.5 \text{ m}$$

Sustituyendo  $d$ ,  $h$ ,  $R$ ,  $r$  y  $h_1$  en la Ec. 1 y Ec. 2. Respectivamente:

- $Vol_{cilindro} = \pi 0,3^2 * 0,137 / 4 = 0,097 \text{ m}^3$

- $Vol_{cono truncado} = \frac{\pi * 0,5 * (0,19^2 + 0,15 * 0,19 + 0,15^2)}{3} = 0,044 \text{ m}^3$

$$Vol_{Total_1} = 0,097 + 0,044 = 0.141 \text{ m}^3$$

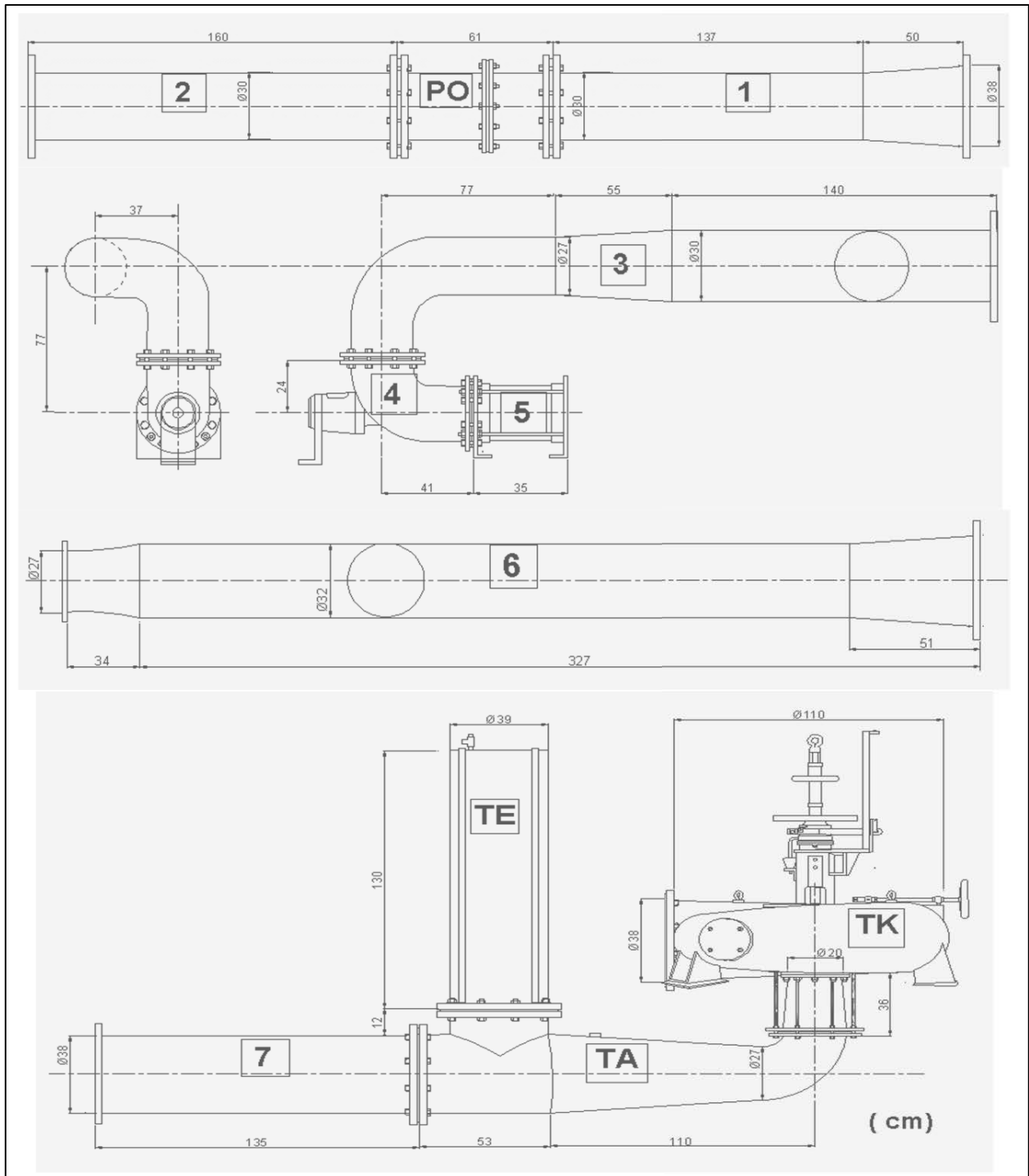
En la **tabla 4.5**, se presenta el volumen de cada tramo de tubería y la capacidad total sistema.

**Tabla 4.5.** Volumen del sistema de tubería del banco de turbina Kaplan.

| <i>Designación de los tubos</i> | <i>Volumen (m³)</i>  |
|---------------------------------|----------------------|
| Tubo N° 1                       | 0,1412               |
| Tubo N° 2                       | 0,113                |
| Tubo N° 3                       | 0,34                 |
| Tubo N° 4                       | 0,0726               |
| Tubo N° 5                       | 0,02                 |
| Tubo N° 6                       | 0,3363               |
| Tubo N° 7                       | 0,153                |
| <b>Tubo de estabilización</b>   | 0,167                |
| <b>Placa Orificio</b>           | 0,0431               |
| <b>Tubo de aspiración</b>       | 0,1736               |
| <b>Turbina Kaplan</b>           | 0,2                  |
| <b><i>VOLUMEN TOTAL</i></b>     | <b><i>1,7598</i></b> |

Para la recopilación de las características de la tubería, bridas y otros accesorios, se presentan en la tabla 4.6 y se usaron los siguientes recursos:

- Las medidas tomadas directamente en el equipo durante el Levantamiento dimensional y el posterior análisis de dicha información.
- La certificación entregada por el fabricante de los equipos del banco (**GILKES & GORDON LTD**).



**Figura 4.8.** Ductería dimensionada del banco de Turbina Kaplan.

**Tabla 4.6.** Características de la tubería, bridas y accesorios del banco de turbina Kaplan.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TUBERÍA DEL BANCO DE TURBINA KAPLAN.</b> |                                                                                                                                              |
| <b>Red de tubería.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>Material tubería: Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).</p> <p>Diámetro promedio de la tubería de 12”</p> <p>Tubería hecha de acuerdo a los requerimientos del diseño del banco. Codos y reducciones integradas al tubo (una pieza).</p> <p>Volumen de sistema de tubería = 1,76 m³ = 1760 litros.</p> <p>Longitud lineal aproximada de tubería: 16 m.</p> <p>Tubería con reborde con tramos que van desde 2 hasta 4 m.</p> <p>Espesores: 7 mm (0,25”).</p> <p>Presión máxima: 5 atm.</p> <p>Rugosidad (<b>K</b>) : 0,01- 0,02 mm</p> <p>Temperatura de operación: 55 °C</p> |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Bridas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                            | <b>Tornillos de las bridas</b>                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Planas de Acero al Carbono</p> <p>Cantidad de bridas = 16 unidades</p> <p>Diámetro nominal (DN) de la brida:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 5 unidades de Ø 280 (11”)</li><li>• 4 unidades de Ø 304(12”)</li><li>• 7 unidades de Ø 381(15”)</li></ul> <p>Números de agujeros por brida = 8</p> <p>Diámetro de los agujeros = 7/8 ”</p> <p>Espesor de la brida = 5/8”</p>                                                                                                                                                                                                  |                                                                            | <p>Cabeza hexagonal de Acero al carbono</p> <p>Diámetro nominal de los tonillos = 3/4”</p> <p>Largo tornillo = 4”</p> <p>Rosca tornillo = Rosca Tuerca= Wichwor NC</p> <p>Cantidad de Tornillos con tuercas y arandela = 88</p> |

Fuente: Propia.

#### 4.2.1.3. Sistema de Control e instrumentación del banco de Turbina Kaplan.

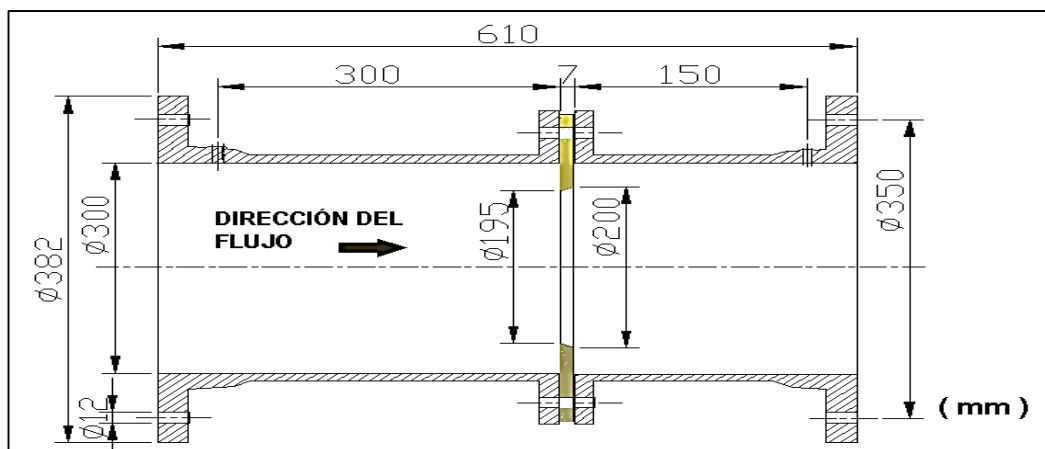
##### Características Técnicas de los diferentes dispositivos de Control y medición.

Los instrumentos para el control hidráulico y mecánico que existente en el banco en estudio son las siguientes:

- Medidor diferencial de Placa orificio,
  - Manómetros,
  - Tacómetros,
  - Dinamométrico,
  - Torsiómetro,
  - Estabilizador de flujo.
- 
- **Medidor diferencial de Placa orificio de turbina Turbina Kaplan.**

El *Elemento primario* está conformado por una **Placa orificio**, el cual genera la caída de presión en el interior de la tubería y el *Elementos secundario* existente es un **Banco Piezométrico**, cuya función es medir el diferencial de presión de forma analógica.

El banco de turbina Kaplan cuenta con una **(1) Placas orificio**, colocada a **2,15 m** de la entrada de la turbina, cuyo objetivo es medir el caudal y la caída de presión en la tubería. Dicha placa están colocadas en la tubería que se encuentra en posición vertical. En la figura 4.9, se puede ver dicha placa dimensionada e instalada en el ducto del banco:



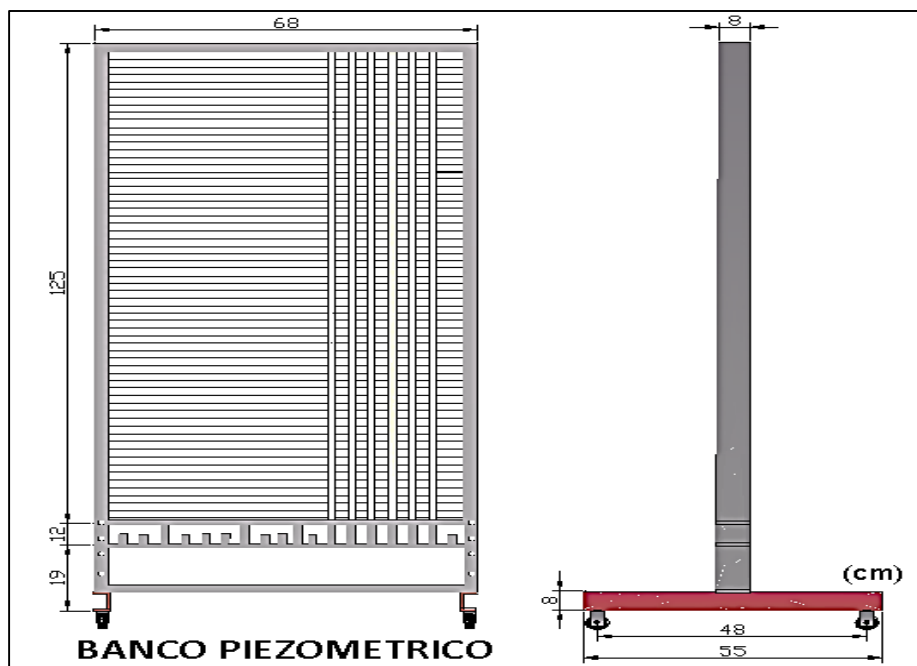
**Figura 4.9.** Dimensiones de la *Placa orificio* y el ducto donde está instalada.  
**Fuente: Propia.**

A continuación se presentarán las características de diseño de la placa orificio, así como también las del banco Piezométrico agua-aire usada para medir la caída de presión:

**Tabla 4.7.** Datos técnicos de la Placa orificio y el Banco Piezométrico del banco de turbina Kaplan.

| PLACA ORIFICIO                                                                                     | DISPOSITIVO DE MEDICIÓN                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Placa con orificio concéntrico para fijar entre bridas                                             | Banco Piezométrico agua - aire de lectura directa                         |
| Placa de canto vivo o vena contracta                                                               | Líquido manométrico = agua                                                |
| Material: bronce mecanizado con acabado fino                                                       | Rango piezómetro = 0 – 2 m c a                                            |
| Espesor de la Placa orificio(E) = 7 mm                                                             | Apreciación piezómetro: 0,1 mm c a                                        |
| Espesor de la vena contráctil (e)= 0                                                               | Tubo de vidrio de Ø nominal = 1/ 2”                                       |
| Diámetro del orificio (d) = 195 mm                                                                 | 6 Tubos de vidrio de 1,25 m de alto                                       |
| Diámetro interno del tubo (D) = 300 mm                                                             | Base rectangular de 1,56 x 0,68 m                                         |
| Dos (2) tomas en tuberías según Normas ISO 5167-1                                                  | Material usado para la base del banco piezómetro= viga U de acero de 8 cm |
| Angulo de bisel = 30,5°                                                                            | Cuatro (4) ruedas de PVC con Ø 1 ½”                                       |
| Dos (2) válvulas de bronce, tipo orificio ajustable, de una (1) vías, conexión macho, de Ø 3/8 NPT | 10 m de Manquera plásticas de baja presión con Ø nominal de 1/ 2”         |
| Dos (2) tomas hembra de Ø nominal de 3/8” NPT                                                      |                                                                           |

El **Banco Piezométrico** de este tipo, sólo se usa para medir bajas presiones, estimándose que para una presión de *0,2 atmosfera en agua* requiere un tubo Piezométrico de *2 metros*. Las mangueras que se usarán para comunicar la toma de alta y baja presión de la Placa orificio al banco Piezométrico, pueden ser conectadas por la parte inferior o superior de los tubos Piezométrico. El arreglo que se haga, debe proporcionar una lectura estable y segura de la diferencia de presión ( $\Delta p$ ) en cada prueba. En la fig. 4.10., se puede observar el banco Piezométrico con su respectivas dimensiones.



**Figura 4.10.** Banco Piezométrico del banco de turbina Kaplan.

Para el cálculo del Caudal en la Placa orificio del banco de turbina Kaplan, se planteará la ecuación indicada en el apartado 5181 de la Normas ISO 5167-1 (2003), la cual se expresa de la siguiente manera:

$$Q = K C_d \sqrt{2 g \Delta h} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Dónde:

$Q$ : es el caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$C_d$ : es el coeficiente de descarga (adimensional)

$g$ : es la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$\Delta h$ : es la caída de presión en el orificio (m)

Constantes predeterminadas del agua:

**Tabla 4.8.** Propiedades del agua a 25°.

| $T (^{\circ}\text{C})$ | $\nu \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ | $\rho (\text{Kg s}^2/\text{m}^4)$ | $\gamma (\text{Kg}/\text{m}^3)$ |
|------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 15                     | 1.142                                      | 101,04                            | 1000                            |
| 20                     | 1.007                                      | 101,84                            | 999                             |

Otras relaciones que se usarán:

▪ **Coeficiente Geométrico:**

$$K = A_0 / \sqrt{(1 - \beta^4)} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

▪ **Relación de diámetros y Área del orificio:**

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| $\beta = d/D$ | $A_o = \pi d^2/4$ |
|---------------|-------------------|

Dónde:

**D**: diámetro de tubería (mm)

**d**: diámetro mínimo del orificio de la placa (mm)

▪ **Coefficiente de descarga:**

|                                                                                                                                                                |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| $Cd = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,10} - 0,1840 \beta^8 + 0,0029 \beta^{2,5} (10^6 / Re)^{0,75} + ..$ $.. + 0,09 L_1 \beta^4 / (1 - \beta^4) - 0,0337 L_2 \beta^3$ | <i>Ecuación 4.6</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|

Dónde:

$L_1 = l_1 / D$ : es la relación que existe entre la distancia desde el plano de la toma de alta presión aguas arriba hasta la cara de la placa orificio y el diámetro de la tubería.

$L_2 = l_2 / D$ : es la relación que existe entre la distancia desde el plano de la toma de baja presión aguas abajo hasta la cara de la placa orificio y el diámetro de la tubería.

En el caso de que la Placa orificio sea concéntrica y de cantos vivos, como la del banco en estudio, los valores de  $L_1$  y  $L_2$  serán:

|           |             |
|-----------|-------------|
| $L_1 = 1$ | $L_2 = 1/2$ |
|-----------|-------------|

▪ **Reynolds:**

|                   |
|-------------------|
| $Re = 4Q/\pi v D$ |
|-------------------|

El valor de  $Q$  que se usara en el cálculo de Reynolds, será el *caudal nominal de la Bomba axial*, el cual es  $Q_n = 2100 \text{ GPM} = 0,1323(\text{m}^3/\text{s})$ . Para la aplicación de la ecuación 3, para el cálculo del caudal  $Q$ , se debe cumplir las siguientes condiciones (Normas 5167-1):

$$D \geq 12,5 \text{ mm}$$

$$0,10 \leq \beta \leq 0,75$$

$$Re \geq 5000$$

$$E < 0,05 D$$

$$0,005 D < e < 0,02 D$$

Una vez que se verificó estos requerimientos, se procedió al cálculo de los diferentes parámetros, los cuales se presentaran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.9.** Parámetros para la ecuación de la Placa Orificio del banco.

| $Re$              | $\beta_o$ | $A$                    | $K$                   | $Cd$ |
|-------------------|-----------|------------------------|-----------------------|------|
| $5,5 \times 10^5$ | 0,65      | $2,986 \times 10^{-2}$ | $3,29 \times 10^{-2}$ | 0,61 |

Sustituyendo los valores anteriormente planteados en la *ecuación 3*, la expresión para el cálculo del caudal  $Q$  en la entrada de la turbina Kaplan, vendría dada por:

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,08885 \Delta h(\text{mca})^{0,5}$$

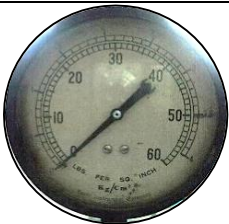
Es importante destacar que para la determinando los coeficientes  $Cq$  y  $K$  usados para la definición de la ecuación de caudal que pasa por la placa orificio, son aproximados y pueden usarse otras ecuaciones, curvas, nomogramas entre otras, para su obtención. Estos valores dependerán del material bibliográfico o asesoramiento profesional con la que se trabaje, sin perder la veracidad en cuanto al cálculo.

▪ **Manómetros:** La *turbina Kaplan* presenta solo un manómetro con capacidad de **60 PSI (4 bar)** que está ubicado en la salida de la turbina para medir una *presión máxima de 1 bar*. La descripción del instrumento se muestra en la tabla 4.10. Es importante destacar que el banco de prueba de la turbina Kaplan requiere tres (3) manómetros más: en la *entrada de la turbina, en la entrada y otro en la salida de la bomba axial*.

▪ **Tacómetros:** El banco de la **Turbinas Kaplan**, cuenta con un (1) Tacómetro que está ubicado en la parte trasera del **motor de la bomba axial**, alineado al eje y en contacto directo con el mismo. Tiene como función medir las revoluciones en las que gira el eje del motor de la bomba axial. En la tabla 4.10 se muestra las especificaciones técnicas del instrumento.

- **Dinamométrico o balanza de resorte:** El dinamómetro usado en el banco de turbina Kaplan se presenta en la tabla 4.10, al igual que las características técnicas de dicho instrumento.
- **Torsiómetro:** Este instrumento tiene como objetivo medir el **Par motor** o la **fuerza del giro** de la *Unidad motora* de la bomba axial del banco. En la tabla 4.10, se presenta las características técnicas de dicho instrumento.

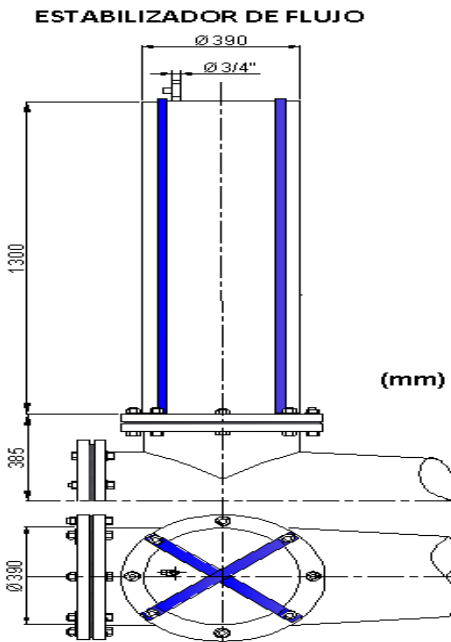
**Tabla 4.10.** Caracterización de los Instrumentos de control y medición del banco turbina Kaplan.

|  |                                                                                     | FICHA TÉCNICO DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDICIÓN DIRECTA DE LOS BANCOS DE TURBINA KAPLAN.                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INSTRUMENTO:                                                                      |                                                                                     | ESPECIFICACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Manómetro                                                                         |   | <p>Manómetro de mediana presión</p> <p><b>Rango:</b> 0-60 psi y 0-4 kg/cm<sup>2</sup> (4 bar), <b>Aprec.:</b> 1 psi - 0,1 kg/cm<sup>2</sup></p> <p><b>Diámetro de la esfera:</b> 100 mm, Conexión macho de 1/4" NPT</p> <p><b>Material:</b> caja en acero en negro.</p> <p><b>Marca:</b> Marsh Instrumest Company</p> |
| Tacómetro                                                                         |  | <p>Tacómetro Analógico de contacto.</p> <p><b>Rango:</b> 0 – 2000 RPM, <b>Aprec.:</b> 20 RPM.</p> <p><b>Diámetro de la esfera:</b> 150 mm, <b>Material:</b> caja en acero en azul.</p> <p><b>Marca:</b> SMITHS.</p>                                                                                                   |
| Dinamómetro                                                                       |  | <p>Dinamómetro analógico de Resorte.</p> <p><b>Rango:</b> 0-250 kg (0-550 Lb)</p> <p><b>Apreciación:</b> 0,001 kg.</p> <p><b>Diámetro de la esfera:</b> 200 mm.</p> <p><b>Material:</b> caja en acero en azul.</p>                                                                                                    |
| Torsiómetro                                                                       |  | <p>Torsiómetro Analógico de Fuelle, <b>Marca:</b> Gilbert Gilkes &amp; Gordon</p> <p><b>Rango:</b> 0 – 250 lbf, <b>Apreciación:</b> 5 lbf.</p> <p><b>Diámetro de la esfera:</b> 100 mm.</p> <p><b>Material:</b> caja en acero pintado en azul.</p>                                                                    |

- **Estabilizador de flujo:** Se conoce también como *Chimenea de equilibrio* y tiene la función mantener un suministro constante de flujo, aminorar el golpe de ariete producidos

por el arranque y parada de la bomba y disminuir la turbulencia que el fluido absorbe en la turbina antes de entrar a la bomba axial (ver tabla 4.11). Presenta una T de  $\varnothing 3/4''$  de acero galvanizado, en la parte superior de la chimenea, por una de la entrada de la T se suministra el agua requerido para llenar la ductería el banco y en la otra se conecta una manguera plástica que derive al ducto del banco para que despresurice y desagüe la chimenea durante los ensayos.

**Tabla 4.11.** Datos técnicos del estabilizador de flujo de la turbina Kaplan.

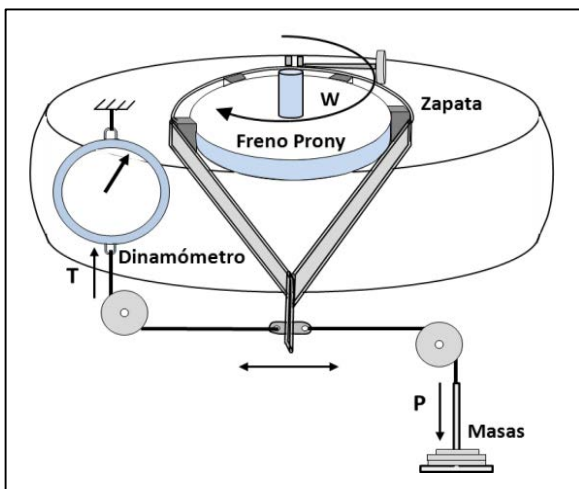
|                                                                                   | <b>DATOS TÉCNICOS DEL ESTABILIZADOR DE FLUJO DE LA TURBINA KAPLAN.</b>                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Material:</b> Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).                                                                                                   | <div data-bbox="982 737 1429 1375"> <p><b>ESTABILIZADOR DE FLUJO</b></p>  </div> |
| <b>Altura del Estabilizador:</b> 5 ft = 1640 mm                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     |
| <b>Diámetro del Estabilizador:</b> 390 mm                                                                                                                          |                                                                                                                                                                     |
| <b>Volumen del estabilizador:</b> 0,196 m <sup>3</sup> = 196 lt                                                                                                    |                                                                                                                                                                     |
| Reforzada con cuatro pletinas de acero de 1 1/4'' x 1/8''.                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |
| El estabilizador esta bridada al ducto principal con 8 pernos de 3/4'' con tuercas                                                                                 |                                                                                                                                                                     |
| Presenta una T de $\varnothing 3/4''$ para dos tomas: una de llenado de la ducteria del banco y otra para despresurizado de la chimenea o estabilizador de fluido. |                                                                                                                                                                     |
| Válvula de paso de $\varnothing 1/2''$ , macho- hembra y adaptador con espiga para manguera y terminar macho.                                                      |                                                                                                                                                                     |
| Abrazaderas Sinfin de acero inoxidable con Rango de $\varnothing 1/2''$ a 1'', ancho de banda de 5/8''.                                                            |                                                                                                                                                                     |

#### 4.2.1.4. Sistema de transformación de la energía hidráulica a calórica en el banco de Turbina Kaplan (freno Prony).

##### Características Técnicas del freno Prony del banco de turbina Kaplan.

En la fig. 4.11, se presenta un diagrama que describe los componentes y el funcionamiento del *Freno Prony* de la turbina Kaplan se explica el funcionamiento de este tipo de Freno. Al igual que está instalado en la turbina Pelton, este dispositivo está

conformado por las siguientes partes: Freno Prony, las Pesas o masas y Dinamómetro de resorte.



**Figura 4.11.** Diagrama de funcionamiento del Freno Prony de la turbina Kaplan.

- **Freno Prony:** Para la caracterización de este dispositivo se revisaron algunos textos bibliográficos, observaciones de frenos dinamómetros instalados en turbinas similares y la información recopilada se presenta en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Datos técnicos del freno Prony de la turbina Kaplan.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>DATOS TÉCNICOS DEL <i>FRENO PRONY</i> DE LA TURBINA KAPLAN</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                                                     | <p>Tipo de freno: de banda con pastillas de neopreno texturizado.</p> <p>Tipo de Actuador: ajuste mecánico por resorte</p> <p>Numero de bandas o pastillas : 4</p> <p>Diámetro del tambor: 12,7 cm</p> <p>Tipo de enfriamiento del tambor : por goteo con agua</p> <p>Tipo de enfriamiento de las bandas : por goteo con aceite hidráulico</p> <p>Longitud del brazo del freno : 20 cm = 7 7 / 8"</p> <p>Guaya de acero de diámetro 2 mm y 1 m de longitud</p> |

- **Pesas o masas:** En la tabla 4.13, se presentan las diferentes masas usadas para obtener la potencia al freno de turbina Kaplan.

**Tabla 4.13.** Masas usadas por los Frenos Dinamométrico en el bancos turbinas Kaplan.

| Masas                                 | 1 Lb                                                                              | 2 Lb                                                                              | 4 Lb                                                                              | 10 Lb                                                                             | 40 Lb                                                                              | Total / Banco | Total(lb) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|
| Existencia en banco de Turbina Kaplan |  |  |  |  |  | 9 masas       | 110       |

Para verificar que la cantidad de masas existentes en el laboratorio son suficientes para realizar las pruebas, se estimará el peso requerido para cada freno dinamométrico, tomando en cuenta las especificaciones técnicas de las turbinas.

- ✓ Potencia en el eje (PHB) = **3,56 hp = 3,49 CV**
- ✓ Velocidad de giro Nominal= **1070 RPM**
- ✓ **L:** Radio del par torsor en el freno Prony= **0,2 m**

De la misma forma que se estimó el peso producido por las masas en el banco turbina Pelton, también se hará con el banco de **Turbina Kaplan**:

$$F = \frac{716 \cdot \text{Pot eje}}{L \cdot N} = \frac{716 \cdot 3,49}{0,2 \cdot 1070} = 11.9 \text{ kg} = 26,44 \text{ lb}$$

*Ecuación 4.7*

**Masa estimación teórica = 26 lb < Masa existentes banco T. K. = 110 lb**

Como se pudo observar, el valor teórico del peso total requerido para la realización de la prueba, fue menor que las masas existentes en el banco de la **turbina Kaplan** por un **76%**; en otras palabras: **las masas existentes en el banco de turbina Kaplan son suficientes para realizar las pruebas.**

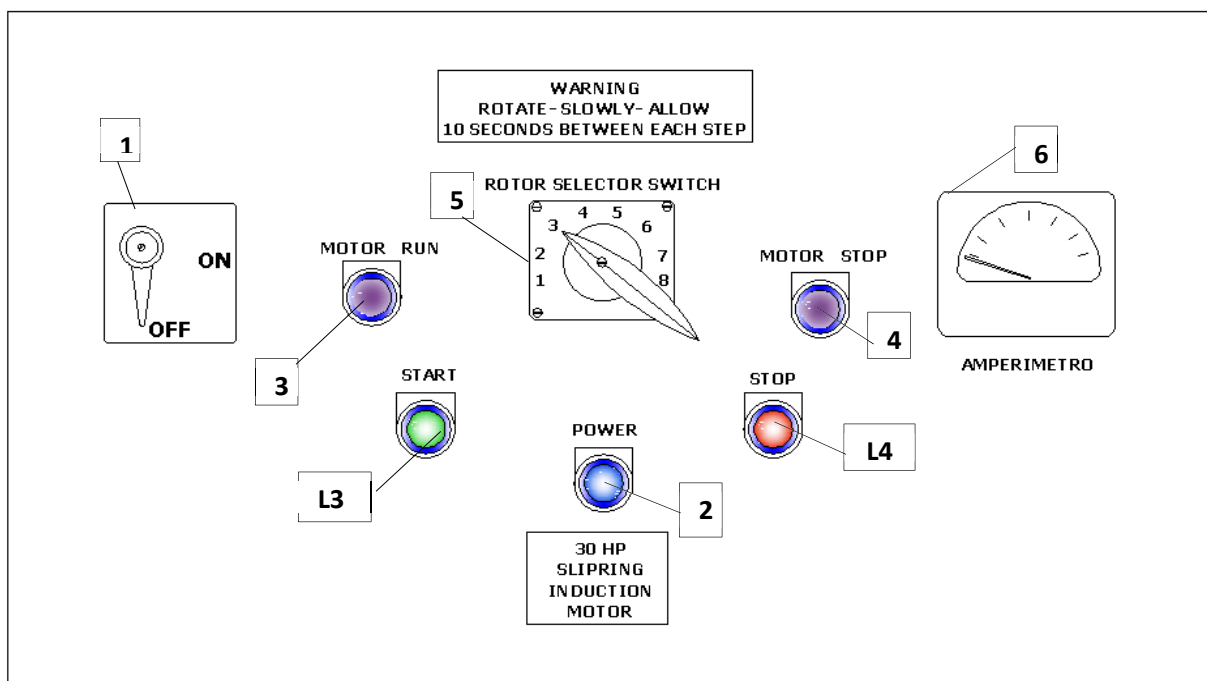
#### 4.2.1.5. Sistema de Mando y control eléctrico del banco de turbina Kaplan.

##### Características técnicas de Panel de control del banco.

El sistema de mando y protección eléctrico del banco de turbina Kaplan, está conformado por: *el Panel de control y el Circuito eléctricos de protección y potencia.*

##### ➤ Panel de Control:

Está ubicado en la parte frontal del armario, el cual está conformado por algunos dispositivos usados para controlar y visualizar el comportamiento de algunos parámetros del equipo en servicio (ver en la fig. 4.12). Los componentes y su respectiva descripción se puede observar en la tabla 4.14.



**Figura 4.12.** Panel de Control del armario del banco de turbina Kaplan.

➤ **Componentes del Circuito de protección y potencia:**

Son los dispositivos electro-mecánicos utilizados para controlar y regular la tensión y corriente del sistema, así como proteger al circuito y sus componentes de alguna sobrecarga o recalentamiento que pueda generar un imperfecto eléctrico. En la figura 4.12., se puede ver los componentes de protección y potencia del panel de control del banco de turbina Kaplan y la descripción de los mismos en la tabla 4.14.



**Figura 4.13.** Componentes de protección y potencia del panel de control del banco de turbina Kaplan

**Tabla 4.14.** Características del *Sistema de mando y protección* del banco de turbina Kaplan.

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                         |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                      | <p align="center"><b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA<br/>MANDO Y CONTROL ELÉCTRICO DEL BANCO<br/>DE TURBINA KAPLAN.</b></p> |  |
| <b>PANEL DE CONTROL</b>                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Armario</b> del acero galvanizado con dimensiones ( L x A x H)= 0,4 x 0,8 x 1,10 m                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Interruptor principal de mediana potencia (1)</b> , tripolar de dos (2) posiciones ( <b>Off – On</b> ).                                                                                                                                                            |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Pulsador manual L<sub>3</sub> y L<sub>4</sub></b> , usados respectivamente para <i>accionar</i> la <b>Marcha y Parada del motor (START y STOP)</b> . Los pulsador son de tipo rasante y luminosos de color <b>verde y rojo</b> , de conexión directa 220 V/ 50 Hz. |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Selector de potencia del Rotor (5)</b> : de mediana potencia para ocho (8) posiciones ( <b>ROTOR SELECTOR SWITCH</b> ).                                                                                                                                            |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Amperímetro analógica</b> con rango <b>0- 300 Amp.</b>                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Pilotos luminosos 2,3 y 4</b> : usados respectivamente para <i>indicar</i> el <b>energizado, marcha y parada del motor (POWER, MOTOR RUN y MOTOR STOP)</b> , de color azul, con transformador incorporado de 220/110 V.                                            |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Cable</b> tipo TW, calibre 12, color rojo y negro.                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>CIRCUITO DE PROTECCIÓN Y POTENCIA</b>                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Caja de fusibles</b> de mediana potencia, para tres (3) líneas.                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Banco de resistencia</b> tipo aletas metálicas desnudas de Aluminio.                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Armario</b> del banco de resistencia del acero galvanizado, con dimensiones ( L <sub>1</sub> x A <sub>1</sub> x H <sub>1</sub> )= 0,4 x 0,78 x 0,74 m                                                                                                              |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Cable</b> tipo TW, calibre 10 y 600 V, color negro.                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Cable</b> tipo TW, calibre 12, color rojo y negro.                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Contactor electromagnético</b> de tres (3) polos, una potencia máxima de 15 hp, una tensión máxima de 600 V                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Relé térmico</b> para sobrecarga en el sistema (máximo 130°).                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Dos Fusibles de protección</b> de 30 A, uno para los <i>Pulsadores de control</i> y el otro para los <i>Pilotos luminosos</i> .                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Regleta bornera</b> para cables calibre 10.                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                                                                                     |

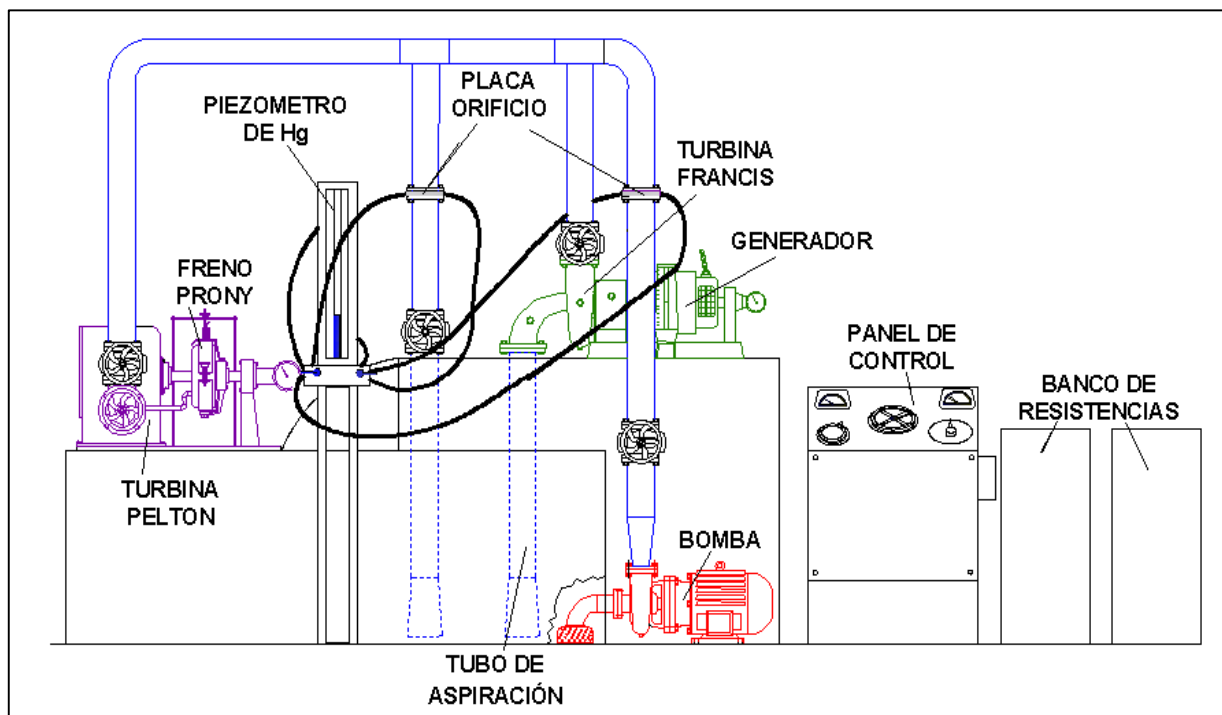
**Fuente: Propia.**

## 4.2.2. BANCO DE PRUEBA DE LAS TURBINAS PELTON– FRANCIS.

### 4.2.2.1. Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica del banco de turbinas Pelton y Francis.

#### Descripción y análisis del circuito del sistema hidráulico del Banco de turbina Pelton y Francis.

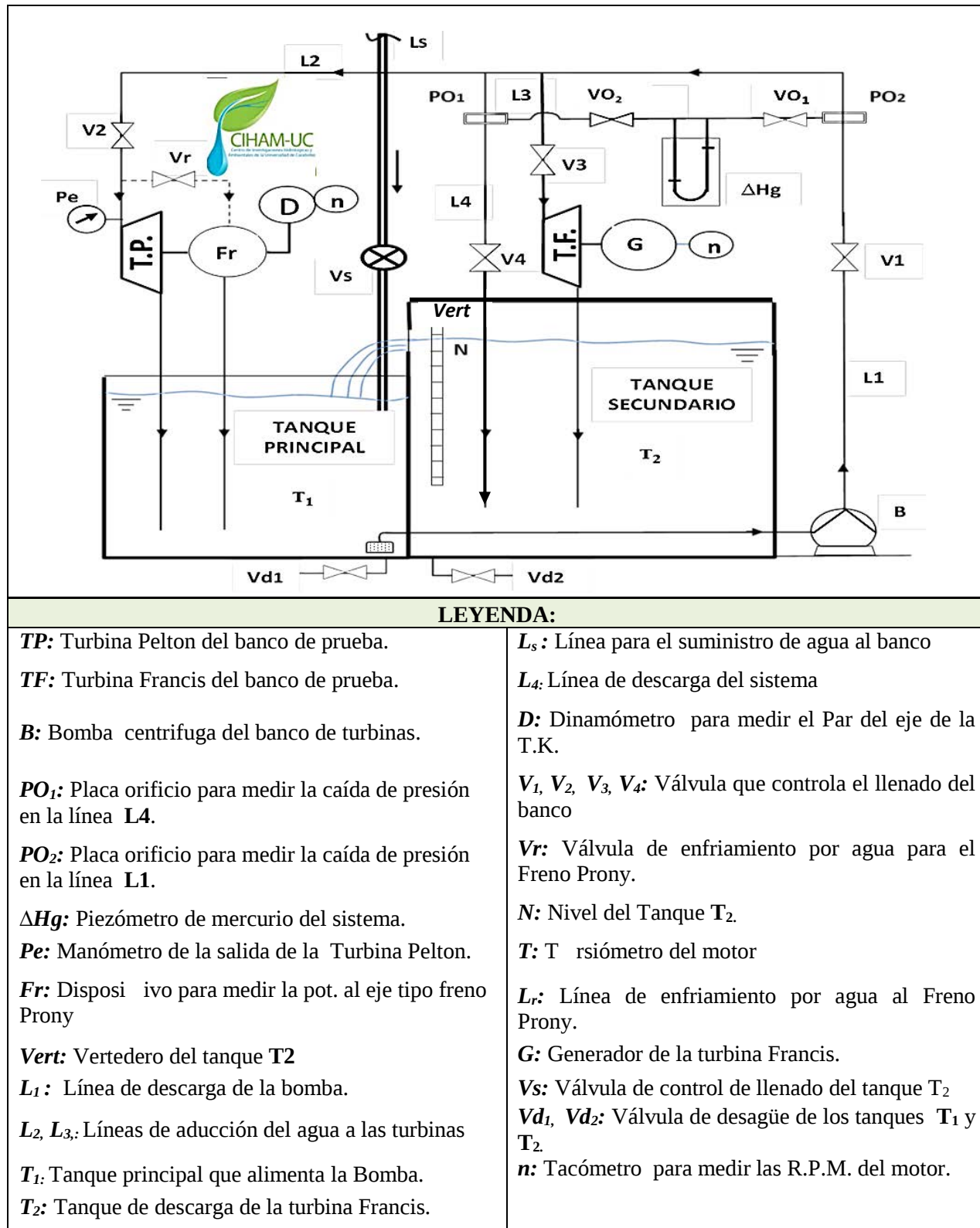
Inicialmente se mostrará en la figura 4.14, un dibujo en el que se indican los equipos que conforman el banco de turbina Pelton-Francis.



**Figura 4.14.** Identificación de los Equipos que conforman el banco de la Turbina Pelton– Francis.

Como se puede ver en el diagrama del banco de turbinas en estudio (ver tabla. 4.15), está diseñado para que el agua se pueda reusar durante la ejecución de las pruebas, ya que el sistema que une la red de tubería, los tanques y los diferentes componentes del banco (bomba, turbinas, accesorios, placas orificio, entre otros) es de tipo **Circuito Cerrado**.

**Tabla 4.15.** Diagrama hidráulico del banco de la Turbina Pelton– Francis.



La bomba **B** es la que transfiere la energía al agua, haciéndola fluir al sistema o red de tubería del banco a través de las líneas **L1**, **L2**, **L3**, y **L4**. El agua adquiere la **presión y altura** suficiente para la realización de los diferentes ensayos en las turbinas. Dicha bomba es alimentada por el tanque **T1**, el cual debe estar lleno en un 80% antes de encender la bomba.

Para la realización de los diferentes ensayos en este banco, dependerá del cierre o apertura de las válvulas **V1**, **V2**, **V3** y **V4**, que se encuentran instaladas en la tubería. A continuación se describirá que ensayos pueden hacerse:

- **Prueba en la turbina Pelton:** para la realización de las diferentes pruebas en esta turbina, se debe mantener abiertas **V1** y **V2**, mientras se cierra **V3** y **V4**. Dicha turbina tiene incorporado varios dispositivos para la construcción de las curva de **Pot. eje vs. RPM** o **Pot. eje vs. Caudal**, (*freno Prony y dinamómetro y tacómetro*).
- **Prueba en la turbina Francis:** para la ejecución de las diferentes pruebas en esta turbina, se debe mantener abiertas **V1** y **V3**, mientras se cierra **V2** y **V4**. Dicha turbina tiene incorporado un *Motor-generator G*, que es controlado desde un *Panel de control*, en donde se puede observar la **tensión y corriente** consumido o producido durante el ensayo.
- **Medición de caudal:** estos parámetros se pueden obtener con el **piezómetro de Hg** que registra los valores de *pérdidas de altura* y *caudal* producidos en la línea **L1** y **L4**. Con el cambio de apertura de la válvula **V4**, se puede construir la curva **Q vs H** de la bomba. Otra manera de obtener en caudal de la bomba es a través del **Vertedero rectangular** que se encuentra en el tanque **T2** y desborda a **T1**.

Con la válvula **Vs**, se suministra agua al tanque **T1** a través de la línea **Ls** que proviene del **tanque aéreo** del laboratorio y con la válvula **Vd1** y **Vd2**, que están ubicadas a nivel del fondo de los tanques **T1** y **T2** respectivamente, se pueden vaciar los tanques, cuya agua retorna al tanque **subterráneo** del laboratorio.

### Caracterización de la Turbina Pelton (nominales).

Partiendo de los valores de la **Placa técnica** que se encuentra en la **carcasa** de la turbina Pelton del banco de prueba (Tabla 4.16), se pueden calcular parámetros importantes en la investigación como lo son: el **Caudal Nominal ( $Q_n$ )**, **Velocidad específica ( $N_s$ )**, entre otros.

**Tabla 4.16.** Datos de la *Placa Técnica* de la turbina Pelton.

| Potencia al eje (BHP)      | Altura nominal (Hn) | Velocidad de giro |
|----------------------------|---------------------|-------------------|
| 4,87 hp = 3;63 kw = 4,9 CV | 100 ft = 30,5 m     | 730 RPM           |

Para calcular el *Número específicas* de revoluciones ( **$\eta_s$** ) de la turbina Pelton, se usa la Ecuación (4.1):

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P_e}}{\sqrt[4]{H^5}} = \frac{730 \cdot \sqrt{4,9}}{\sqrt[4]{(30,5)^5}} = 22,5$$

Ec (4.8)

*Dónde:*

**$N_s$** : Velocidad específica.

**$N$** : Velocidad (rpm)

**$P_e$** : Potencia al eje de la turbina (CV).

**$H$** : Salto neto (m).

Como  **$N_s = 22,5$** , se puede observar en la tabla 4.17 que la turbina en estudio, es una **Turbina Pelton Lenta**.

**Tabla 4.17.** Clasificación de las turbinas hidráulicas de acuerdo al  $N_s$ . (Mataix)

| CLASE  | TIPO    | $N_s$            |
|--------|---------|------------------|
| Lenta  | Pelton  | 3 a 70           |
| Media  | Francis | 70 a 450         |
| Rápida | Kaplan  | 450 a 1000 o más |

Para el cálculo del *Caudal Nominal ( $Q_n$ )* de la Turbina Pelton se usa la ecuación Ec, (4.9):

$$Q_n = \frac{P_e}{\gamma * H * \eta_t}$$

Ec (4.9)

*Dónde:*

**$P_e$** : Potencia al eje de la turbina (wall).

$\gamma$  = Peso específico agua a 25°C = 9800 N / m<sup>3</sup>

$\eta_t$  = Eficiencia total de la turbina = 0,85 (Tabla 4.18)

**$H$** : Salto neto (m).

**Tabla 4.18.** Rendimiento total de la Turbina Pelton, según la Pot. Neta. (Mataix)

| $P_e$      | < 75 KW | 750 KW | 7500 KW | 75000 KW |
|------------|---------|--------|---------|----------|
| $\eta_t$ % | 85      | 88     | 89      | 90       |

$$Q_n = \frac{3.600}{9800 \cdot 30,5 \cdot 0,85} = 0,01417 \frac{m^3}{seg} = 224,6 \text{ GPM}$$

Entonces:

La *Velocidad Especifica (Ns)* y *Caudal nominal (Qn)* se muestra en la siguiente tabla:

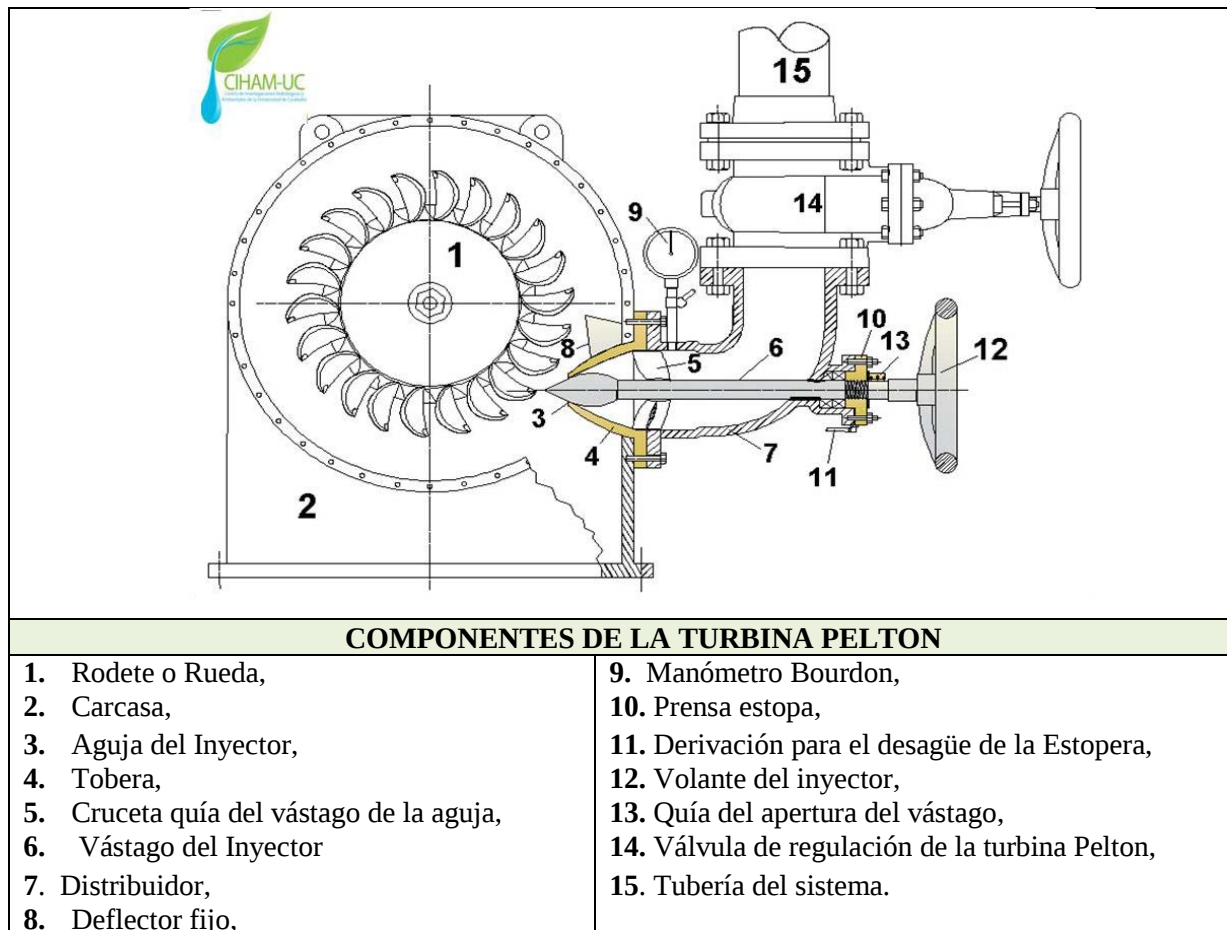
**Tabla 4.19.** La *Velocidad Especifica (Ns)* y *Caudal nominal (Qn)* de la turbina Pelton.

| <i>Velocidad Especifica (Ns)</i> | <i>Caudal nominal (Qn)</i>                    |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| 22,5                             | $0,01417 \frac{m^3}{seg} = 224,6 \text{ GPM}$ |

### **Componentes de la Turbina Pelton del Banco de Prueba.**

En el dibujo de la tabla 4.20, se pueden ver los componentes de la turbina Pelton que intervienen directamente en la transformación de energía hidráulica en energía mecánica.

**Tabla 4.20.** Corte de una sección transversal de la turbina Pelton Gilkes 5961.



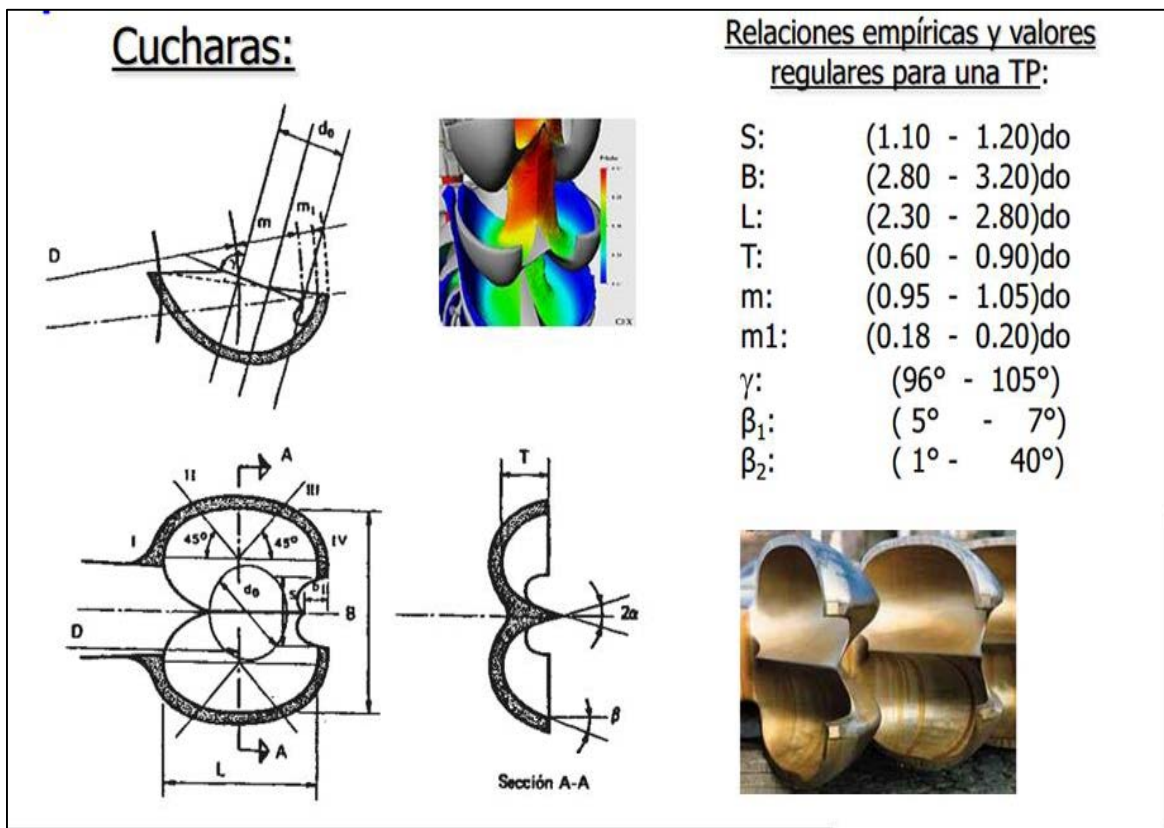
Fuente: Propia.

➤ **El Rodete de la turbina Pelton:**

Para la caracterización técnica del rodete se utilizaron textos bibliográficos de turbinas hidráulicas, páginas de internet sobre el tema y el levantamiento dimensional del banco. En la tabla 4.21, se presentan las características de la *rueda* y la *cuchara* que conforma el *rodete* y en la figura 4.15., se puede ver un corte transversal de la cuchara, indicando los valores de diseño recomendados.

**Tabla 4.21.** Caracterización del Rodete de la Turbina Pelton del banco de Pruebas.

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
|  <b>Caracterización del Rodete de la Turbina Pelton del Laboratorio de Hidráulica Civil- U.C.</b>  |                                     |                                                      |
| <b>Proceso de Fabricación:</b> Fundición en bronce y posteriormente mecanizado                                                                                                                                                                                         |                                     |                                                      |
| <b>Posición del Rodete:</b> Vertical                                                                                                                                                                                                                                   |                                     | <b>Numero de Álabes:</b> Z= 24                       |
| <b>Característica del Rueda</b>                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Medidas directa e indirectas</b> | <b>Valores recomendados (Mataix, pág. 760 - 761)</b> |
| <i>Diámetro Máximo de la rueda</i>                                                                                                                                                                                                                                     | Dp= 390 mm                          | -----                                                |
| <i>Diámetro Medio de la rueda</i>                                                                                                                                                                                                                                      | D= 320 mm                           | -----                                                |
| <i>Ancho del Cubo de la rueda</i>                                                                                                                                                                                                                                      | C= 75 mm                            | -----                                                |
| <i>Espesor máximo de la rueda</i>                                                                                                                                                                                                                                      | h= 19 mm                            | -----                                                |
| <b>Característica de la Cuchara</b>                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Medidas directa e indirectas</b> | <b>Valores recomendados</b>                          |
| <i>Diámetro Nominal del Chorro</i>                                                                                                                                                                                                                                     | d= 36 mm                            | -----                                                |
| <i>Diámetro Máximo del Chorro</i>                                                                                                                                                                                                                                      | do= 30 mm                           | -----                                                |
| <i>Anchura útil de la Cuchara</i>                                                                                                                                                                                                                                      | B= 83 mm                            | (2,8 a 3,2)*do                                       |
| <i>Largo útil de la Cuchara</i>                                                                                                                                                                                                                                        | L=70 mm                             | (2,3 a 2,8)*do                                       |
| <i>Profundidad de la Cuchara</i>                                                                                                                                                                                                                                       | T= 23 mm                            | (0,6 a 0,9)*do                                       |
| <i>Ancho de la Escotadura</i>                                                                                                                                                                                                                                          | S= 33 mm                            | (1,1 a 1,2)*do                                       |
| <i>Paso angular de la Cuchara</i>                                                                                                                                                                                                                                      | $\theta = 15^\circ$                 | $\theta = \frac{2\pi}{(N^\circ \text{ de alabes})}$  |
| <i>Angulo de escape del Chorro</i>                                                                                                                                                                                                                                     | $\beta = 8^\circ$                   | 5° a 10°                                             |
| <i>Angulo de corte del Chorro</i>                                                                                                                                                                                                                                      | $2\alpha = 12^\circ$                | 10° a 15°                                            |
| <i>Angulo de orientación entre el chorro y Rodete</i>                                                                                                                                                                                                                  | -----                               | 96° a 105°                                           |
| <i>Tipo de escotadura</i>                                                                                                                                                                                                                                              | -----                               | N.B.P.P. Francia                                     |



**Figura 4.15.** Corte transversal de la Cuchara del Rodete y rango de valores de diseño.

Para determinar el diámetro del chorro **do** que choca con la cuchara, se procedió de la siguiente manera:

- El diámetro **d** del orificio de salida de la **tobera** medido directamente en la turbina Pelton es de 36 mm,
- **do** es el diámetro resultante del chorro afectado por la contracción causado por la **aguja** y la **tobera** en la salida y se obtiene usando la siguiente relación:

$$d = \frac{do}{Cc}$$

Ec 4.10

**Dónde:**

**Cc:** Coeficiente de contracción con valor que oscila entre 0,8 a 0,87.

Fijando  $C_c = 0.83$ , entonces:  $d = \frac{d_o}{0.83} \Rightarrow d_o = \frac{36}{1.2} = 30 \text{ mm}$

**$d_o = 30 \text{ mm}$**

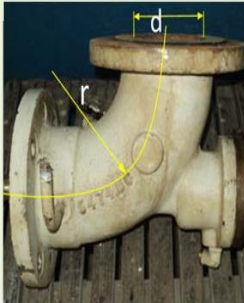
Diámetro máximo del chorro (pag. 747, Mataix)

#### ➤ Distribuidor de entrada a la turbina Pelton:

Consiste en la prolongación de la tubería forzada que conduce el caudal del agua al rodete. Esta unida a la carcasa mediante bridas de unión y es la que soporta a los demás mecanismos que regulan la velocidad de giro de la turbina (*tobera, aguja, cruceta, vástago, volante y otros*).

A continuación se presentara las principales características del *Distribuidor* (tabla 4.22):

**Tabla 4.22.** Caracterización del Distribuidor de la turbina Pelton del banco de Pruebas.

|                                                                                    |                                                                                                               |                                     |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>Caracterización del <i>Distribuidor</i> de la Turbina Pelton del Laboratorio de hidráulica Civil- U.C.</b> |                                     |  |
| <b>Proceso de Fabricación:</b><br>Fundición y posteriormente    mecanizado         |                                                                                                               |                                     |                                                                                      |
| <b>Material:</b> Fundición de hierro                                               | <b>Código:</b>                                                                                                | 5474BO                              |                                                                                      |
| <b>Característica del Distribuidor</b>                                             |                                                                                                               | <b>Medidas directa e indirectas</b> |                                                                                      |
| <i>Diámetro Externo del codo</i>                                                   |                                                                                                               | Dext =136 mm                        |                                                                                      |
| <i>Diámetro Interno del codo</i>                                                   |                                                                                                               | d = 101.6 mm (4")                   |                                                                                      |
| <i>Radio de curvatura</i>                                                          |                                                                                                               | r = 142 mm                          |                                                                                      |
| <i>Relación entre el radio y el diámetro interno del codo</i>                      |                                                                                                               | $r/ d = 1,4$                        |                                                                                      |

#### ➤ El Inyector de la turbina Pelton:

En la tabla 4.23, se presentan los componentes que conforman el *Inyector* de la turbina Pelton y sus características.

**Tabla 4.23.** Caracterización del de los componentes del Inyector de la turbina Pelton.

| <div>  <div> <b>CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL<br/>INYECTOR DE LA TURBINA PELTON DEL<br/>LABORATORIO DE HIDRÁULICA CIVIL- U.C.</b> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | IMAGEN                                                                                |
| <p align="center"><b>AGUJA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Proceso de Fabricación: <b>Fundición y mecanizado</b></li> <li>Radio de curvatura del bulbo o Cebolla: <b><math>r = 72 \text{ mm}</math></b></li> <li>Diámetro máximo de la aguja: <b><math>D_a = 47,5 \text{ mm}</math></b></li> <li>Ángulo del vértice de la Aguja: <b><math>\gamma = 46^\circ</math></b></li> <li>Largo de la Aguja: <b><math>\ell = 105 \text{ mm}</math></b></li> <li>Material: <b>Bronce</b></li> </ul> |    |
| <p align="center"><b>TOBERA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diámetro introductor: <b><math>D_t = 101.5 \text{ mm}</math> (4")</b></li> <li>Diámetro de salida del chorro: <b><math>D = 320 \text{ mm}</math></b></li> <li>Largo de la tobera: <b><math>L = 87 \text{ mm}</math></b></li> <li>Ángulo del vértice de la tobera: <b><math>\epsilon = 70^\circ</math></b></li> </ul>                                                                                                         |    |
| <p align="center"><b>DEFLECTOR FIJO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ángulo del vértice entre caras: <b><math>\theta = 90^\circ</math></b></li> <li>Ángulo entre la cornisa y la carcasa: <b><math>\beta = 30^\circ</math></b></li> <li>Espesor de las pantallas: <b><math>e = 7 \text{ mm}</math></b></li> </ul>                                                                                                                                                                         |   |
| <p align="center"><b>CRUCETA QUÍA DEL VÁSTAGO DE LA AGUJA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Material: Bronce</li> <li>Número aletas: 4</li> <li>Dimensiones: ver figura 3-a</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
| <p align="center"><b>VÁSTAGO DEL INYECTOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Material: Acero inoxidable</li> <li>Largo: <b><math>21 \frac{1}{2}''</math></b></li> <li>Dimensiones: ver figura 3-b</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| <p align="center"><b>VOLANTE DEL INYECTOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Material: Acero inoxidable</li> <li>Diámetro Volante: <b><math>230 \text{ mm}</math></b></li> <li>Dimensiones: ver figura 3-b</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |

➤ **La Tobera:**

Es el cuerpo cónico y truncado, instalado en la terminación de la cámara de distribución. Se trata de una boquilla que normalmente presenta un orificio de sección circular, de un diámetro aproximado entre 5 y 30 cm en los prototipos. En la tabla 4.23, se puede ver la *tobera* con sus características.

➤ **Prensaestopas:**

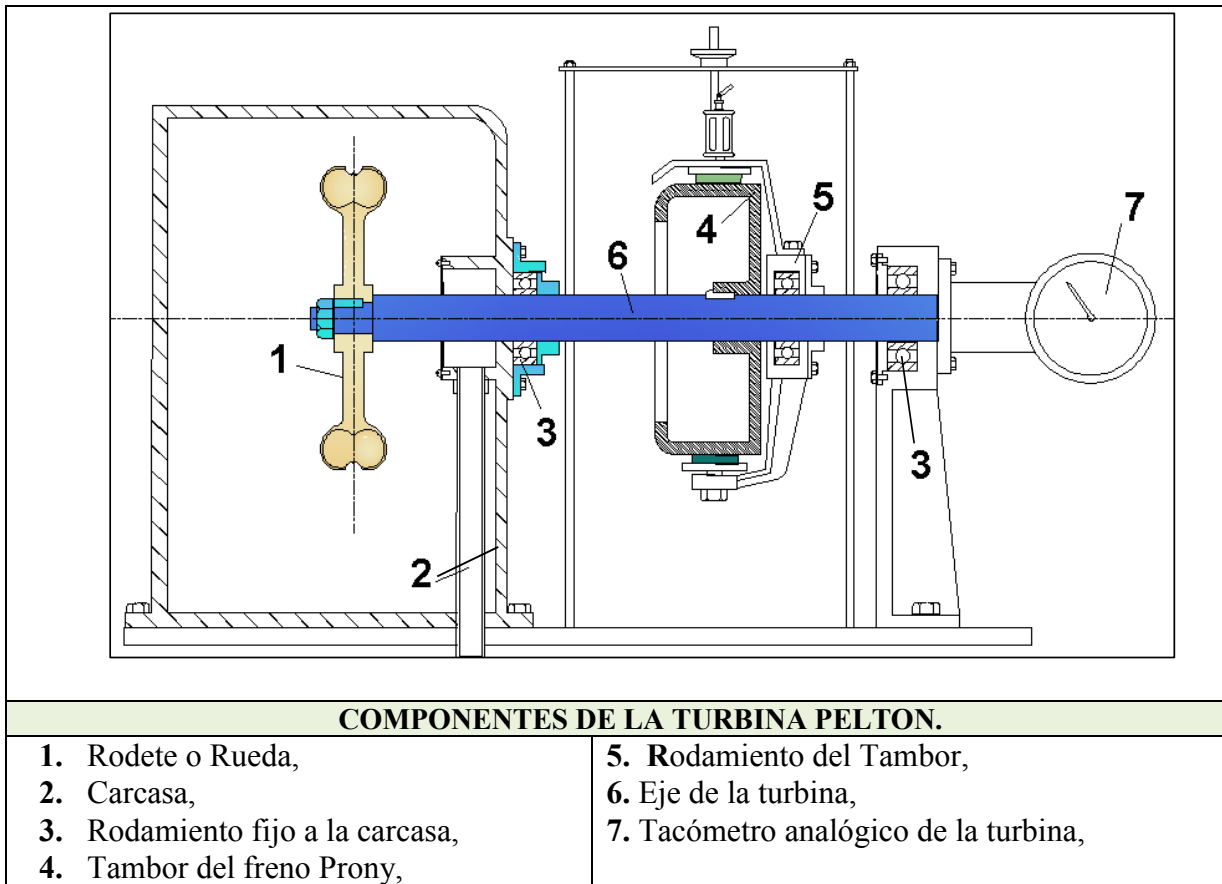
Esta hecho de *bronce* en forma de tapón y entra ajustada en la garganta ubicada en la parte inferior del *codo del distribuidor*. Presenta un agujero pasante concéntrico y roscado que coincide con la sección roscada del vástago del inyector. De esta manera el vástago puede desplazarse proporcionalmente al giro del volante regulador. En la tabla 4.23, se puede ver el *Prensaestopas*.

➤ **La Carcasa de la turbina Pelton:**

La *Carcasa* es la caja metálica que cubre los inyectores, rodete y otros elementos mecánicos de la turbina. Su función es evitar que el agua salpique al exterior cuando, después de incidir sobre los álabes los abandona. Está montada sobre una plancha de acero provista de una *falda de escurrimiento* en la parte inferior la cual conduce el agua hacia el tanque. En la tabla 4.23, se puede ver dicho elemento identificado con el número dos (2).

➤ **Eje de la Turbina Pelton.**

El eje de la turbina es de *acero al carbono*, colocado en posición horizontal y esta rígidamente unido al rodete (cuña y tuerca) y situado adecuadamente sobre cojinetes sólo en el extremo interno (tipo voladizo) debidamente lubricados. Para medir la potencia en el eje, tiene incorporado un freno tipo Prony y un dinamómetro. En la tabla 4.23, se puede ver el eje identificado con el número seis (6).



**Figura 4.16-a.** Corte longitudinalmente que pase por el eje de la turbina Pelton Gilkes 5961.

#### ➤ Cojinetes del eje de la Turbina Pelton.

Los cojinetes son elementos mecánicos de contacto cuya función es soportar las cargas producidas por el eje o flecha (o cualquier otro componente unido a éste) y que simultáneamente permita que gire libremente. Existen dos (2) *cojinetes* de bola *montados en cajas o chumaceras*, uno atornillado a la carcasa y otro en un pedestal en forma de “V” invertida (figura 4.16-a.).

Las cajas, chumaceras o soportes para los cojinetes son hechos de *Fundición Gris*, provisto de un dispensador de grasa. Los elementos que forman los rodamientos (aros y bolas) están hechos de *Acero especial al cromo*, con las siguientes composiciones:

- **Los Aros de los rodamientos (internos y externo) :** 0,9 a 1% de C y 1% de Cr
- **Bolas de los rodamientos:** 1% de C y 1,3 a 0,5% de Cr.

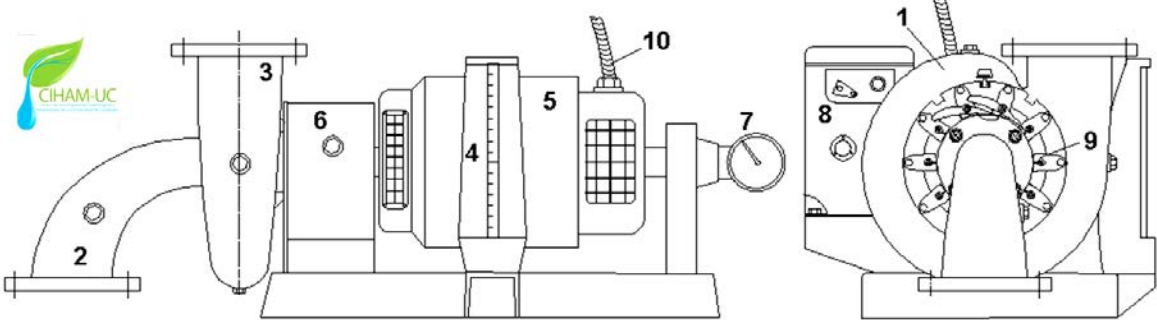
Existe una limitación en cuanto a la apreciación del serial de los cojinete del banco de prueba (datos principales para establecer sus características en catálogos sobre el tipo y número de bolas, diámetro del aro externo, tolerancia, cargas que soporta y otros), ya que para poderlo observar se requiere desmontar el mismo del eje, que ha sido colocado con apriete, eso pudiera causar el deterioro total o parcial del rodamiento que se encuentran actualmente en buen estado. Solo se puede afirmar respecto a los rodamientos lo siguiente:

- Son rodamientos de bola de hilera única,
- Resisten cargas radiales ligeras (serie 200),
- El rodamiento fijado en la carcasa es de marca Pollard – Bearings, con diámetro de aro interno de 1 ½ "
- El rodamiento montado en el pedestal de marca HOFFMANN.

#### **Componentes de la Turbina Francis del Banco de Prueba.**

Para el abordaje de este punto de la investigación, se comenzará mostrando en la tabla 4.24, los componentes que forman la Turbina Francis que se encuentra en el laboratorio:

**Tabla 4.24.** Componentes de la Turbina Francis del Banco de Prueba.

|                                                       |                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| COMPONENTES DE LA TURBINA FRANCIS                                                                                                         |                                                                                                                                               |
| 1. Cámara Espiral,<br>2. Tubo de aspiración de la turbina,<br>3. Tubo de entrada de la turbina,<br>4. Torsiómetro,<br>5. Motor-Generador, | 6. Caja de transmisión del gobernador,<br>7. Tacómetro,<br>8. Gobernador hidráulico,<br>9. Distribuidor tipo Fink,<br>10. Conexión eléctrica. |

### ➤ **Cámara espiral y Pre-distribuidor:**

La *cámara espiral o voluta* de la turbina Francis está hecha de **Fundición de hierro** y tiene como función conducir el agua por toda la periferia del rodete con ayuda de un órgano fijo llamado **Pre-distribuidor** (ver fig. 4.16-b.). El Pre-distribuidor está conformado por **diez (10) paletas o alabes fijo** de perfil aerodinámico, con el fin de reducir las pérdidas en la entrada al distribuidor.

La cámara espiral está montada en posición vertical, con un diámetro nominal en la entrada es de 4" y en la salida tiene un diámetro de 3" (entrada del tubo de aspiración).

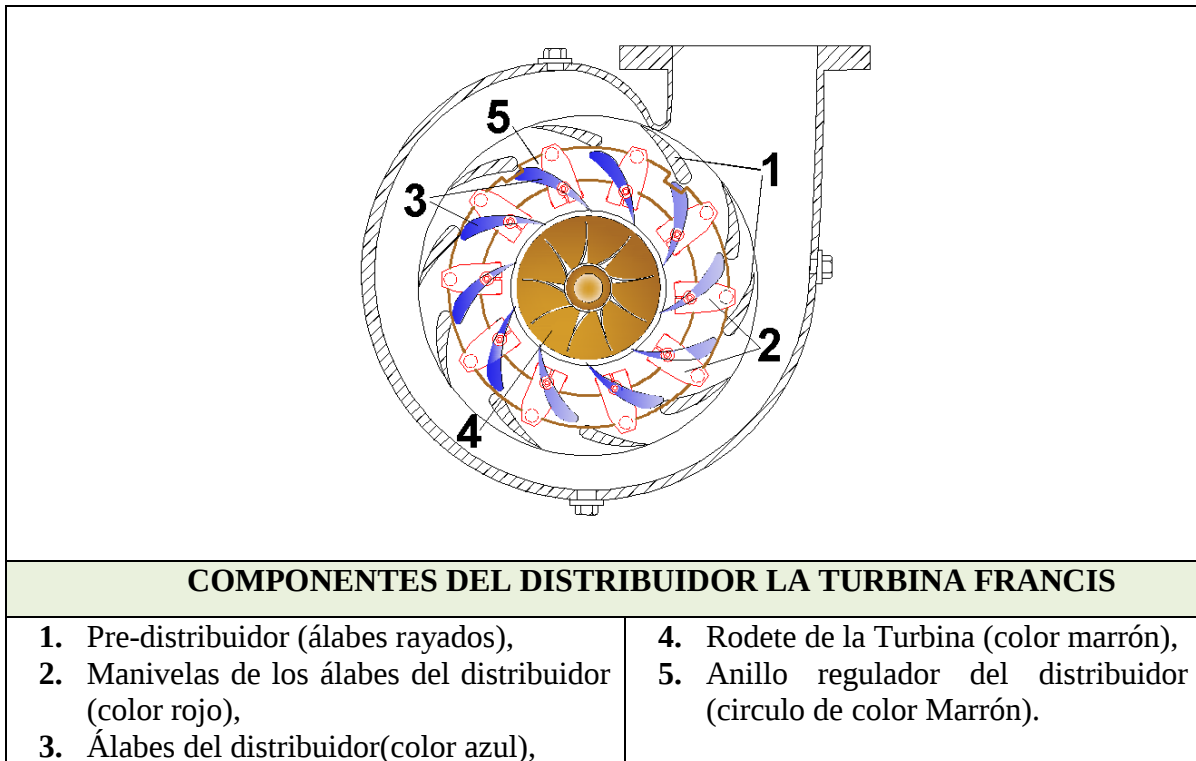
### ➤ **El Distribuidor:**

El *Distribuidor* de la turbina Francis es el conjunto de **alabes móviles** directrices que orientan y controlan el caudal que entra en el rodete y puede variar entre 10 a 21 paletas.

La turbina Gilkes 5962 presenta un **Distribuidor tipo Fink**, conformado por diez (10) álabes móviles con perfil de *curva positiva* y distribuidas alrededor del rodete en forma cilíndrica (ver fig. 4.16-b.). Estas paletas están controladas por un **anillo regulador** que las hace girar a todas simultáneamente a través de un mecanismo formado por **bridas, bielas y manivelas**. Todos estos elementos están conectados entre sí por pequeñas pasantes provistos de engrasadores (axialmente) y por tornillos (radialmente).

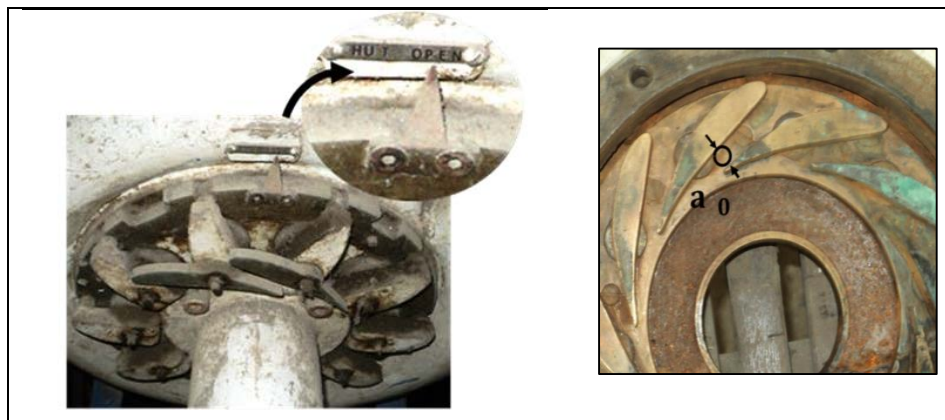
Cabe resaltar los siguientes aspectos del distribuidor de la turbina Gilkes 5962:

- La turbina presenta un distribuidor cilíndrico de álabes giratorios, que pueden ser movidos manualmente a través del anillo regulador (no cuenta con volante ni servomotor).
- La regulación del distribuidor tiene prefijado solo dos (2) posiciones, *Cerrado-Abierto (HUT-OPEN)*, como se puede ver en la figura 4.17. No presenta escalas intermedias en la que se establezcan otras aperturas, como se ven en las Curvas características de la turbina (fig. 4.19. y 4.20.).



**Figura 4.16.** Componentes internos de la turbina Francis.

➤ La apertura “es el parámetro de regulación para los álabes móviles del distribuidor y se conoce como  $a_0$ , que es la distancia geométrica del borde de salida de un álabe a la superficie inferior del álabe siguiente. Cuando el distribuidor está cerrado (HUT),  $a_0 = 0$  y cuando está abierto totalmente (OPEN),  $a_0 = 7/16$ ”. Esta medida fue tomada directamente en el distribuidor como se puede observar en la figura 4.17.



**Figura 4.17.** Escala de Apertura del distribuidor de la turbina Francis 5962 y Apertura entre álabes móviles  $a_0$

### ➤ El Eje de la Turbina Francis:

El eje es el elemento diseñado para soportar los momentos torsores causados por la transformación de energía hidráulica a mecánica, así como también sostener el *rodete* y las partes auxiliares para que el funcionamiento de la turbina sea óptimo. Entre los elementos auxiliares que están montados en el eje se encuentran: *la tuerca cabeza redonda y la cuña (sujetan al rodete del eje)*, *el sello mecánico* y otros.

El eje está fabricado de **acero inoxidable** y posteriormente mecanizado. Descansa sobre *dos rodamientos de bolas*, uno que esta fijo en la parte trasera de la *caja de transmisión del gobernador* y otro en el pedestal final de *generador* (parte posterior del generador).

### ➤ El Rodete de la turbina Francis:

El Rodete de la turbina Francis Gilkes 5962, es el de uso habitual con álabes curvados hacia atrás. Sus valores de diseño se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 4.25.** Caracterización del rodete de la turbina Francis.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                               | <b>RODETE DE LA<br/>TURBINA FRANCIS</b> |  |
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                         |                                                                                      |
| <p><i>Proceso de Fabricación:</i> Fundición y posteriormente mecanizado</p> <p><i>Material:</i> Bronce</p> <p><i>Diámetro externo:</i> 6"= 152,4 mm</p> <p><i>Diámetro de salida:</i> 3"=76.2 mm</p> <p><i>Número de alabes:</i> 9</p> <p><i>Espesor de la pared:</i> 5,3 mm</p> <p><i>Altura de la salida:</i> 1"= 25,4 mm</p> |                                         |                                                                                      |

### Caracterización de la Turbina Francis (nominales).

En la recopilación de información sobre la *turbina Francis Gilkes 5962*, se tuvo la limitación de no contar con la **Placa de especificaciones técnicas** como en el caso de las demás turbinas del laboratorio. Sólo en la brida de la entrada de la cámara espiral se observó la altura de diseño troquelado (**Hd = 160 ft**), como se puede ver en la fig. 4.18.



**Figura 4.18.** Altura de diseño de la Turbina Francis.

Para la determinación de otros parámetros de funcionamiento de la turbina Francis 5962, se usará la curva característica con apertura del distribuidor de 1" (ver fig. 4.19.), en la que se tomarán los valores pertenecientes al *Punto de mayor eficiencia o nominales* y se calcularán la Potencia al eje.

**Tabla 4.26.** Valores Nominales de la turbina Francis Gilkes 5962.

| Valores Constantes                                                                                               | Valores Nominales                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Apertura de distribuidor: <math>a_0 = 1''</math></i><br><i>Altura neta (<math>H_n</math>): 25 ft = 7,62 m</i> | <i>Caudal (<math>Q_n</math>): 800 G.P.M = 0,0504 m<sup>3</sup>/s</i><br><i>Velocidad de Giro: 800 R.P.M.</i><br><i>Eficiencia: 82%</i> |

$$Pe = \gamma * Qn * H * \eta_t$$

Ec. 4.4

**Dónde:**

**Pe:** Potencia al eje de la turbina (Wall).

$\gamma$  = Peso específico agua a 25°C = 9800 N / m

$\eta_t$  = Eficiencia total de la turbina

$H$  = Salto neto (m).

$Q_n$  = caudal Nominal (m<sup>3</sup>/s)

A continuación se realizara el cálculo de la potencia al eje o al freno:

$$\begin{aligned}
 Pe_{je} &= 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0,0504 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 7,62\text{m} * 0,82 \\
 Pe_{je} &= 3086 \text{ w} = 3,086 \text{ Kw} = 4,06 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Para el cálculo del *Número específico de revoluciones (Ns)*, se usarán los valores que anteriormente se especificaron en la tabla 4.26:

$$N_s = \frac{N \sqrt{P_{eje}}}{\sqrt[4]{H n^5}}$$

**Dónde:**

**Ns:** Velocidad específica.

**N:** Velocidad de giro(rpm)

**Peje:** Potencia al eje(C.V.)

**H:** Salto neto (m)

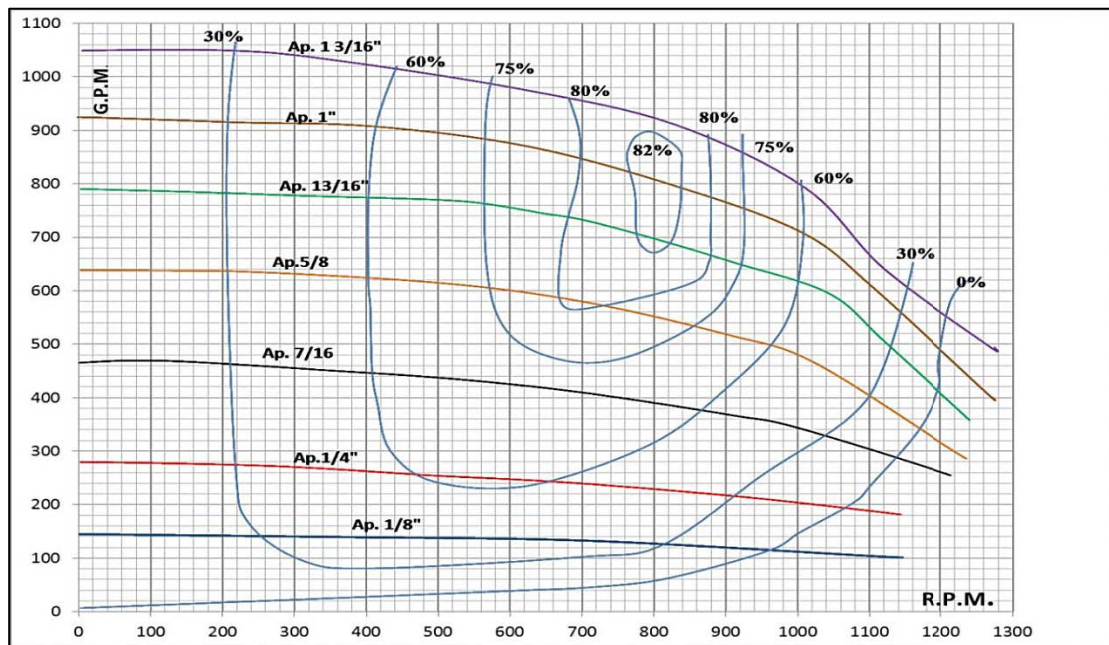
$$N_s = \frac{800 * \sqrt{4}}{\sqrt[4]{(7.62)^5}} = 141$$

Como:  $125 < N_s = 141 < 300 \Rightarrow$  se considera una **Turbina Francis de modelo normal**.

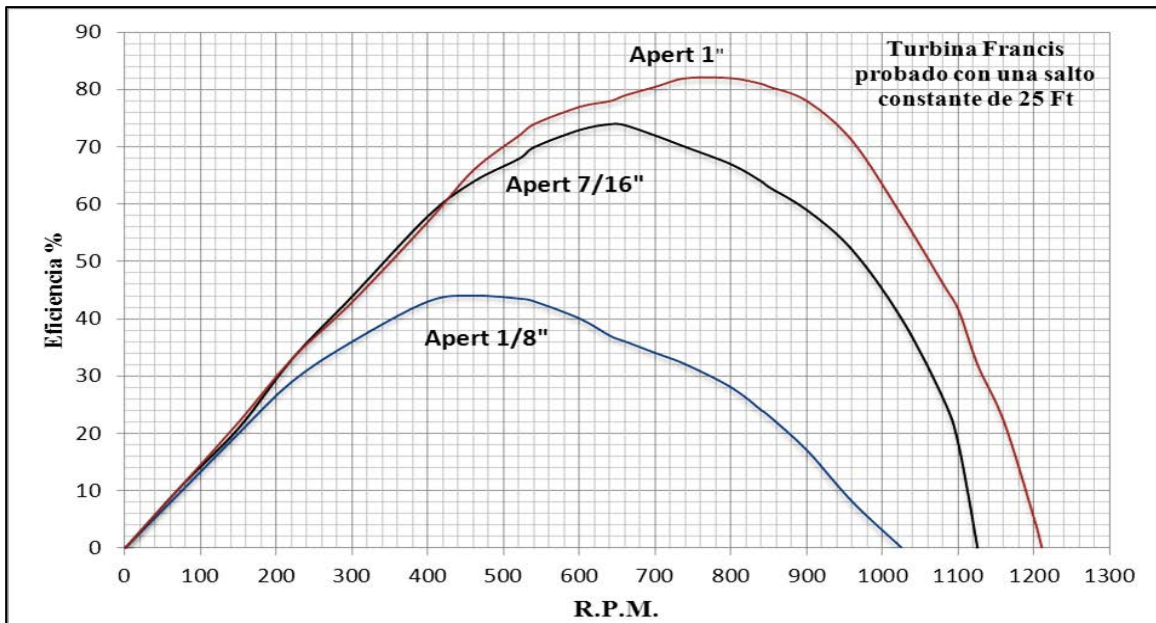
( Mataiz,pag. 436. Editorial HARLA)

### Curvas Características de la Turbina Francis.

En este punto de la investigación, las **Curvas característica** y el **Diagrama Universal** de la turbina se obtuvieron de algunas copias del **manual del fabricante** del banco de pruebas que se resguardaron y se digitalizaron en este trabajo para su mejor apreciación (graficas G y H).



**Figura 4.19.** Curvas características (rpm vs gpm) de la Turbina Francis (D= 6'', Ht = 160 Ft). Fuente: Gilkes.



**Figura 4.20.** Curvas características (rpm vs % eficiencia) de la Turbina Francis (D= 6", Ht = 160 Ft). Fuente: Gilkes.

#### 4.2.2.2. Sistema de *Simulación del recurso hidráulico* en el banco de Turbina Pelton - Francis.

El Sistema de simulación del recurso hidráulico está conformado principalmente por los siguientes elementos: **la Bomba hidráulica, el Depósito y la Tubería y accesorios.**

A continuación se presentarán las características de los componentes anteriormente nombrados:

##### **Caracterización de la Bomba hidráulica (nominales)**

Para la recopilación de la información sobre las características de la Bomba, algunos parámetros fueron tomados de la placa técnica y otras medidas directamente en varios componentes de dicho equipo. Con respecto a los valores de **caudal, altura, potencia al eje y eficiencia** se harán referidas al **Punto nominal** de la **Curva característica de la bomba centrífuga Monoblock KSB**, de comportamientos similar a la bomba **GILKES** del banco de turbinas, ya que de esta última se tiene poca información.

**Tabla 4.27.** Valores de placa de la Bomba del banco de turbina Pelton-Francis.

| <b>Datos Técnicos de Placa de la bomba <i>Gilkes Pumps</i>.</b> |                           |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Pot freno</b> =15 hp,                                        | <b>Ø Descarga</b> = 16 cm |
| <b>Vel. giro</b> = 2900 rpm                                     | <b>Ø Rodete</b> = 50 mm   |

A continuación se presenta el procedimiento con el cual se obtuvieron dichos valores:

1. Con los valores de la tabla 4.27, se seleccionó una bomba en la **Carta comercial de bombas GILKES PUMPS** (Anexo N°5), en la que se observa que la familia de bombas **50-16**(Ø descarga - Ø Rodete) puede manejar caudales que varían desde **40 a 98 m³/hr** y una altura que va desde **23 a 40 m**. Esta información es importante, porque define la zona de operación o capacidad de la bomba centrífuga del banco turbina Pelton-Francis.

2. Utilizando las **Curvas características de la serie 50-160 bomba centrífuga Monoblock KSB** (Anexo N° 6), ya que ambos fabricantes han unificado criterios de diseño hidráulico y mecánico de acuerdo con la norma **EN 733 (DIN 24255)**. De esta gráfica, se utilizará la curva **Ø 161**, que representa el funcionamiento de una bomba de la **serie 50-160**, con un impulsor de diametro de 161 mm, 1mm mayor que el de la bomba Gilkes de laboratorio (Ø Rod = 160 mm). En dicha curva se puede observar el punto de mayor Eficiencia (Punto nominal de trabajo) y a partir de ese dato, se puede establecer los demas valores nominales de funcionamiento.

Con los valores Nominales de la bomba que se obtuvieron en la curva **KSB 50-160** y los de la tabla 4.27, se calculará a continuación el *Número específicas de revoluciones* de dicha bomba (Ns):

$$Ns = \frac{N \cdot \sqrt{Qn}}{\sqrt[4]{Hn^3}}$$

*Dónde:*

**Ns:** Velocidad específica.

**N:** Velocidad = 2900 rpm

**Q:** Caudal nominal de la bomba = 0.0222 m³/s.

**H:** Salto neto = 28 m

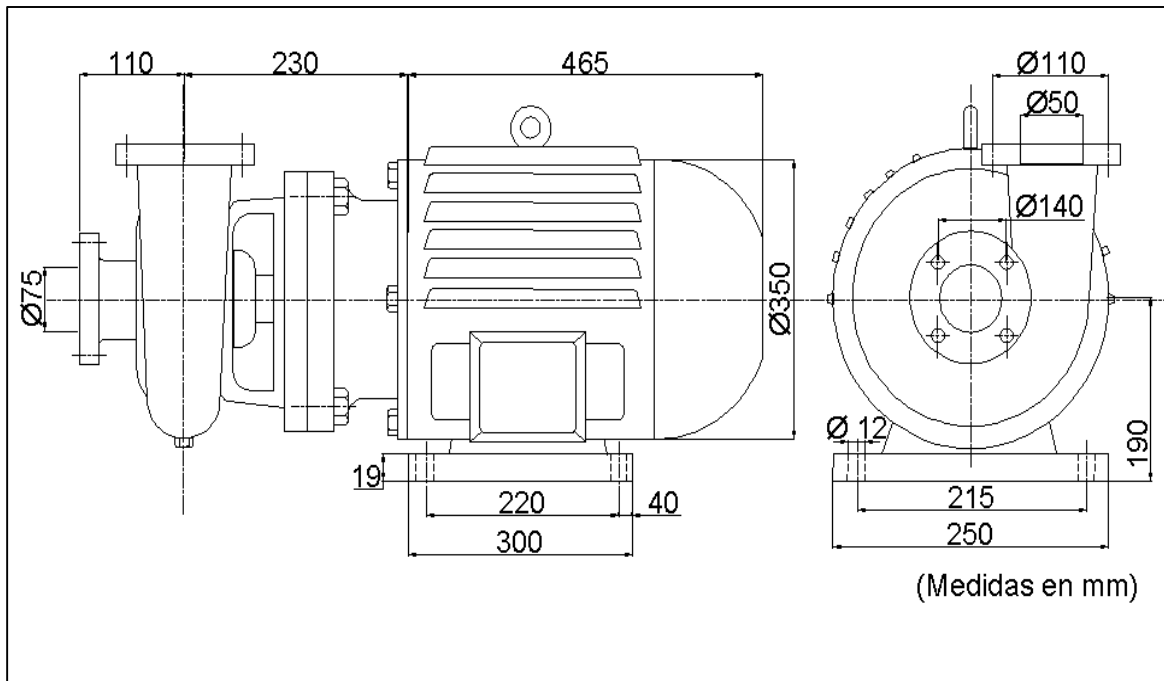
$$Ns = \frac{2900 * \sqrt{0.0222}}{\sqrt[4]{(28)^3}} = 35,5 \text{ min}^{-1}$$

En la tabla 4.28, se mostrarán los valores mas importante que caracterizan la bomba Gilkes del banco de prueba de las turbinas Pelton-Francis:

**Tabla 4.28.** Características de Funcionamiento bomba hidráulica Gilkes del banco de turbinas Pelton- Francis.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>CARACTERIZACIÓN DE LA BOMBA DEL<br/>BANCO DE TURBINA PELTON Y FRANCIS<br/>DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA CIVIL-<br/>U.C.</b> </div>  </div> |                                                                            |
| <b>Unidad de Bombeo:</b><br><br><b>GILKES PUMPS &amp; GORDON LTD</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Unidad Motora:</b><br><br><b>BROOK MOTORS LIMITED HUDDER<br/>SFIELD</b> |
| <b>Serial: 45352</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Serial: K63505</b>                                                      |
| Bomba centrifuga de eje horizontal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Asíncrono de corriente alterna (A.C.)                                      |
| Fabricado en hierro fundido y bronce                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Bastidor de motor estándar, a prueba de filtraciones.                      |
| Diámetro del Impulsor= 160 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Enfriado por ventilador                                                    |
| Diámetro de Succión= 75 mm<br>Impulsor radial de media altura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Aislamiento Clase E<br>Temperatura máxima = 120° C                         |
| Diámetro de Descarga= 50 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Potencia eléctrica= 15 Hp =11,2 kw                                         |
| Numero de Alabes del Impulsor= 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Velocidad de giro= 2.900 R.P.M.                                            |
| Perfil del Alabe= curvados hacia atrás $\beta_2 < 90^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Tensión= 380 / 440 Volt                                                    |
| Potencia hidráulica= 10,73 hp= 8 kw                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Amperaje = 20,6 Amp.                                                       |
| Altura Nominal(Hn)= 28 m = 92 Ft                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Frecuencia= 50 Hz                                                          |
| Caudal Nominal(Qn) = 350 gpm = 80 m³/hr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | P.H. = 3 (Grado de acides permisible)                                      |
| Velocidad Especifica(Ns) = 36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                            |

Para complementar la caracterización de la bomba en estudio, se realizó un dibujo en el que se puede apreciar las dimensiones de dicha bomba (fig. 4.21.).



**Figura 4.21.** Dimensiones de la bomba hidráulica Gilkes del banco de turbinas Pelton-Francis.

### **Características Técnicas de los Depósitos de agua**

El Depósito tiene como función principal proveer el agua al sistema, al ser el tanque de almacenamiento del circuito cerrado que componen todos los elementos en el banco, además sirve como soporte y base de la turbina, tubería, accesorio, generador entre otros.

El agua del banco de prueba de las Turbina Pelton-Francis, está conformado por dos (2) tanques unidos por dos (2) de sus lados (tienen dos paredes en común). Están hechos de ***láminas de Acero con un espesor de 5 mm, unidos por soldadura***. Las superficies están recubiertas con pintura en esmalte. Estos depósitos se definirán según su función y características de la siguiente manera (figura 4.22.):

- **Tanque Principal:** es el depósito que alimenta a la bomba Gilkes Pumps, utilizada en el banco de ensayo. Debe estar lleno antes de comenzar la práctica y esto se logra abriendo la válvula de suministro *V<sub>s</sub>*, cuya agua proviene del ***Tanque elevado*** del laboratorio.

El Tanque también recibe el agua que descarga la turbina *Pelton* durante la prueba, ya que la misma esta acoplada en la parte superior de dicho tanque. En la parte inferior del piso (a nivel del fondo) presenta una válvula de desagüe *Vd1*.

- **Tanque Secundario:** este depósito recibe el agua que descarga la *turbina Francis* durante el ensayo y la que proviene de la bomba *B* (ver figura 4.22.).

En la parte superior izquierda de la pared del tanque *T2*, existe un vertedero de canal rectangular de **15 x 40 cm**, por donde cae el agua hacia el *tanque primario* cuando el tanque secundario se rebosa, de esta manera se comunican los dos (2) depósitos del banco de turbina Pelton- Francis. Al igual que el tanque principal, esté también presenta una válvula de desagüe *Vd2* en la parte inferior.

#### Calculo del *Volumen* y *Peso* de los Tanques:

En la figura 4.22, se puede observar una representación con cotas del *Depósito* del banco de prueba de la turbina Pelton– Francis, con el cual se facilitará el cálculo de algunos parámetros de interés para la investigación. A continuación se procederá a un *cálculo tipo* del *volumen* y *peso* de uno de los tanques:

- **Vol. del Tanque Principal**=  $H1 * A1 * L1$       *Ecuación 4.11*

##### Dónde:

**H1:** altura de tanque principal (m).

**A1:** ancho de tanque principal (m).

**L1:** lado del tanque principal (m).

$$\text{Vol. del Tanque Principal} = 0,91 \times (0,77 \times 1,46 + 0,37 \times 1,15) = 1,41 \text{ m}^3 = 1410 \text{ lts}$$

- **Peso Tanque principal**=  $\rho_{\text{Acero}} * \text{Espesor pared} * (A1 + A2 + A3 + A4 + Ap)$       *Ecuación 4.12*

##### Dónde:

$\rho_{\text{Acero}}$ : Densidad del acero=7.850 kg/ m<sup>3</sup>

$e_{\text{pared}}$ : Espesor de las paredes del tanque= 5 mm= 0.005 m

**A<sub>1</sub>** : Área de la pared tanque primario = 0,91 m\*0,77 m = 0,7 m<sup>2</sup>

**Ap**: Área del piso del tanque principal = (0,77\*1,47 + 0,37\*1,15)m<sup>2</sup> = 1,557 m<sup>2</sup>

$$A_2 = 0,91 \cdot 1,47 \text{ m}^2 = 1,32 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0,91 \cdot 2,61 \text{ m}^2 = 2,375 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 0,91 \cdot 0,37 \text{ m}^2 = 0,336 \text{ m}^2$$

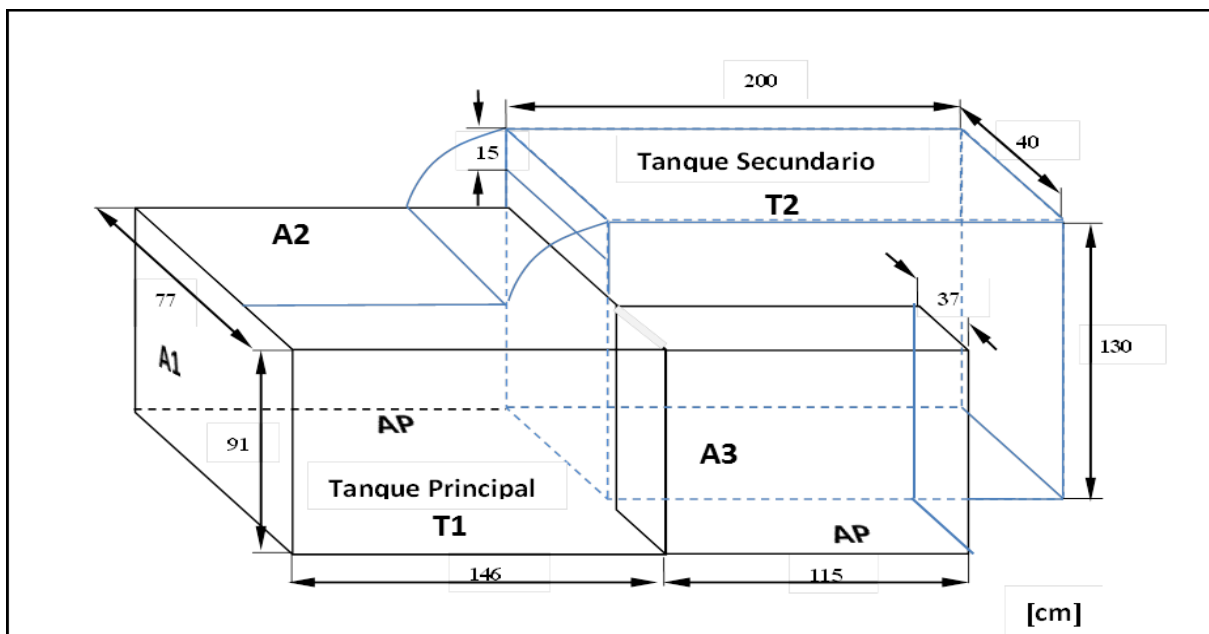
$$\text{Peso Tanque Principal} = 7.850 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.005 \text{ m} \cdot (0,7 + 1,32 + 2,375 + 0,336 + 1,557) \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Tanque Principal} = 246,8 \text{ kg}$$

En la tabla 4.29, se muestra el *volumen* y *peso* particular de los tanques **T1** y **T2**, al igual que el **Depósito de almacenamiento** en total.

**Tabla 4.29.** Capacidad y Peso de los Depósito de almacenamiento del banco de Turbina Pelton- Francis.

| CAPACIDAD Y PESO DEL DEPÓSITO           | VALORES                           |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Volumen del Tanque Principal</i>     | 1,41 m <sup>3</sup> = 1410 litros |
| <i>Volumen Tanque Secundario</i>        | 0,92 m <sup>3</sup> = 920 litros  |
| <b><i>Volumen total de deposito</i></b> | <b>2330 litros</b>                |
| <i>Peso Tanque Principal</i>            | 246,8 kg                          |
| <i>Peso Tanque Secundaria</i>           | 276,32 kg                         |
| <b><i>Peso total tanque</i></b>         | <b>523,12 kg</b>                  |



**Figura 4.22.** Depósitos de agua para las pruebas en el banco de la Turbina Pelton- Francis.

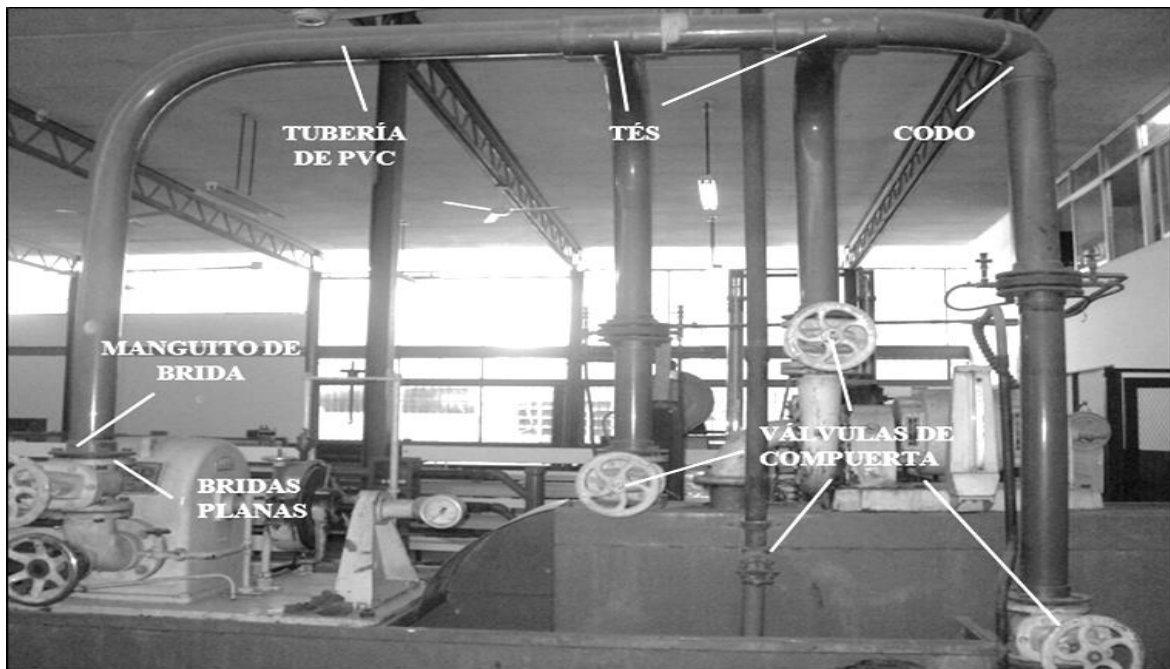
### **Características Técnicas de la Tubería de agua y Accesorios**

La tubería del banco, tiene como función conducir, almacenar y proveer el agua durante las pruebas, así como también conectar los elementos que conforman el circuito cerrado del sistema, uniendo *la bomba, las turbinas, las válvulas*, entre otros.

En la figura 4.23, se pueden apreciar el sistema de tubería usada para conducir el agua y los accesorios que existen en el banco de turbinas y en la tabla 4.30, y ver la caracterización de la tubería y los accesorios que conforman este sistema:

Los elementos que se estudiarán en este punto son los siguientes:

- **Tubería plástica,**
- **Accesorios:** codos, té, manguitos, bridas, porta bridas y otros.
- **Válvulas.**



**Figura 4.23.** Sistema de tubería para agua del banco de pruebas de turbinas Pelton-Francis.

**Tabla 4.30.** Características de la Tubería y accesorios del banco de Turbina Pelton- Francis.

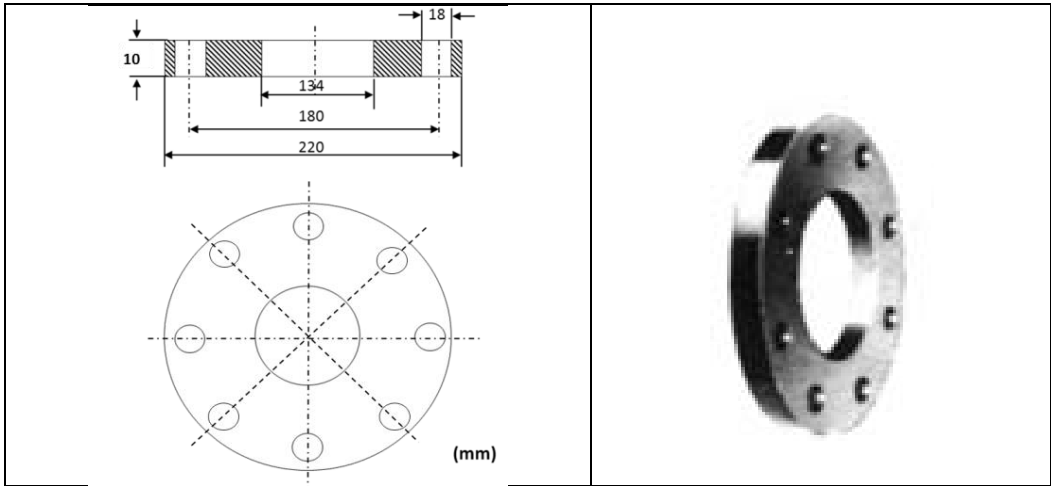
| CARACTERÍSTICAS GENERALES                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Material de la Tubería:</b> Policloruró de vinilo (PVC) de color gris oscuro, Cédula 80                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Tipos de uniones:</b> Por cementación y bridas metálicas                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Diámetro interior</b> = 101,6 mm = 4"                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Diámetro nominal (DN)</b> = 110 mm= 4,33"                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Presión Nominal</b> = 10 bar = 147 psi                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Temperatura de trabajo</b> = 23 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| COMPONENTE EN PVC                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ACCESORIO EN METAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>REDUCCIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad = 1 reducción, fabricada con dimensiones específicas.</li> <li>Tipo de unión = por bridas.</li> <li>Diámetros = 110 a 50,4 mm.</li> <li>Largo= 500 mm.</li> </ul>  | <p><b>VÁLVULA DE CONTROL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad= 4 válvulas con extremos bridados.</li> <li>Tipo compuerta de Ø 4", estándar.</li> <li>De hierro fundido y uso industrial</li> <li>Presión de trabajo: 250 psi.</li> </ul>  |
| <p><b>CODO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad = 1 codo estándar de 90° tipo hembra-hembra.</li> <li>Tipo de juntas = encolado o cementado.</li> </ul>                                                                | <p><b>VÁLVULA DE DESAGÜE DEL DEPOSITO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad= 4 válvulas.</li> <li>Tipo compuerta de Ø 2" estándar.</li> <li>De bronce y uso industrial</li> <li>Presión de trabajo: 150 psi.</li> </ul>                   |
| <p><b>TE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad = 2 Tés estándar con diámetros iguales y ángulo recto.</li> <li>Tipo de juntas = encolado o cementado.</li> </ul>                                                       | <p><b>VÁLVULA DE LLENADO DEL DEPOSITO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad= 1 válvulas.</li> <li>De bronce y uso industrial.</li> <li>De vástago largo de 4".</li> <li>Presión de trabajo: 150 psi.</li> </ul>                          |
| <p><b>PORTA BRIDAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad = 10 Porta bridas estándar.</li> <li>Tipo de unión = encolado o cementado.</li> </ul>                                                                         | <p><b>VÁLVULA DE ENFRIAMIENTO DEL TAMBOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad= 1 válvulas.</li> <li>De bronce y uso general.</li> <li>Diámetro nominal de 1/ 2".</li> </ul>                                                             |
| <p><b>TUBERÍA PLÁSTICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Longitud lineal= 12 m</li> <li>Espesor de la pared = 4,2 mm</li> </ul>                                                                                             | <p><b>COLADOR DE SUCCIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diámetro 170 mm y una altura 60 mm</li> <li>Fabricado en acero inoxidable Calibre 16, soldado al tubo.</li> <li>Agujeros circular de Ø 1 /4".</li> </ul>                           |

Otros componentes a caracterizar son los siguientes:

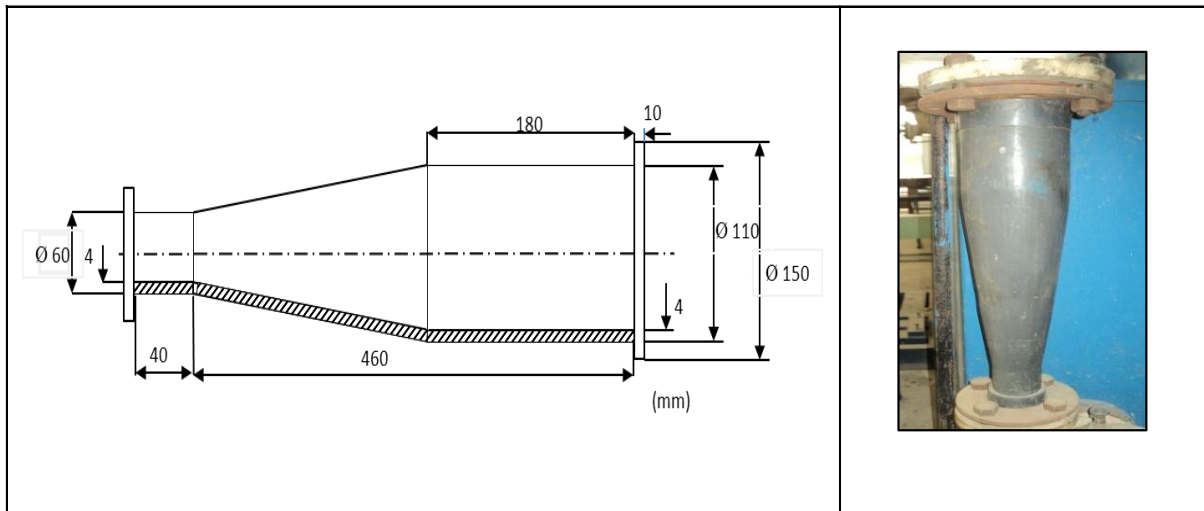
**Bridas planas:** Estos accesorios presentan características estándar para la fabricación de conexiones utilizadas en diseños hidráulicos de baja, mediana y alta presión (Anexo N° 7).

Las características de las bridas usadas en el banco son las siguientes (tabla 4.31):

**Tabla 4.31.** Característica de la Brida de las tuberías del banco.

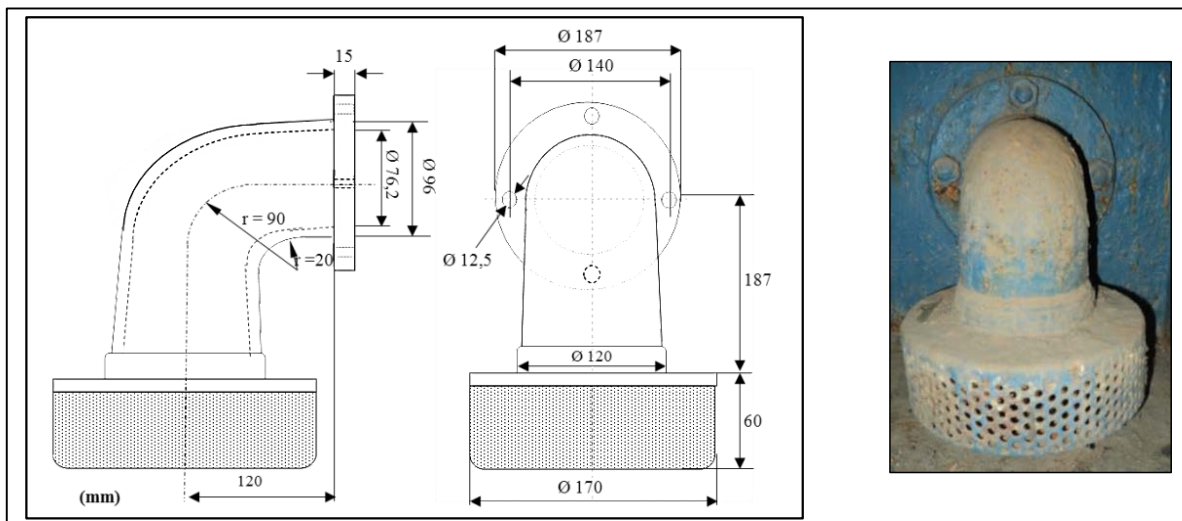
|                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bridas planas                                                                                                                                                                                                                                             | Características de los tornillos y tuercas                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>Acero al Carbono<br/>           Cantidad de bridas = 9 unidades,<br/>           Números de agujeros por brida = 8<br/>           Diámetro nominal (DN) = 110 mm<br/>           Diámetro externo = 220 mm<br/>           Espesor de la brida = 3/8"</p> | <p>Acero al Carbono<br/>           Num. Tornillos = Num. Tuercas = 44<br/>           Diámetro nominal = 1/2"<br/>           Largo tornillo = 3"<br/>           Rosca tornillo = Rosca Tuerca = Wichwor, 12 hilos / pulg.<br/>           Espesor tuerca = 1/2"</p> |

**Reducción:** Para complementar la información dada en la tabla 4.30, se debe decir que esta reducción es usada como difusor y está colocado al salir de la bomba *Gilkes Pump*. Las dimensiones se pueden apreciar en la figura 4.24.



**Figura 4.24.** Dimensiones de las *Reducción* usada en el banco de turbinas Pelton-Francis.

**La Canastilla o Colador:** este accesorio se coloca en la tubería de succión o de aspiración de las bombas, cuya función es impedir la entrada de cuerpos extraños al sistema de conducción. El diseño de estos elementos dependerá del proyecto a desarrollar. En la fig. 4.25., se puede ver las dimensiones de dicho colador:



**Figura 4.25.** Colador usado en la succión de la Bomba del banco de turbinas Pelton-Francis.

Para mayor información sobre accesorios de PVC, se muestran en el Anexo N° 8, copias de catálogos de empresas fabricantes de conexiones de diferentes dimensiones.

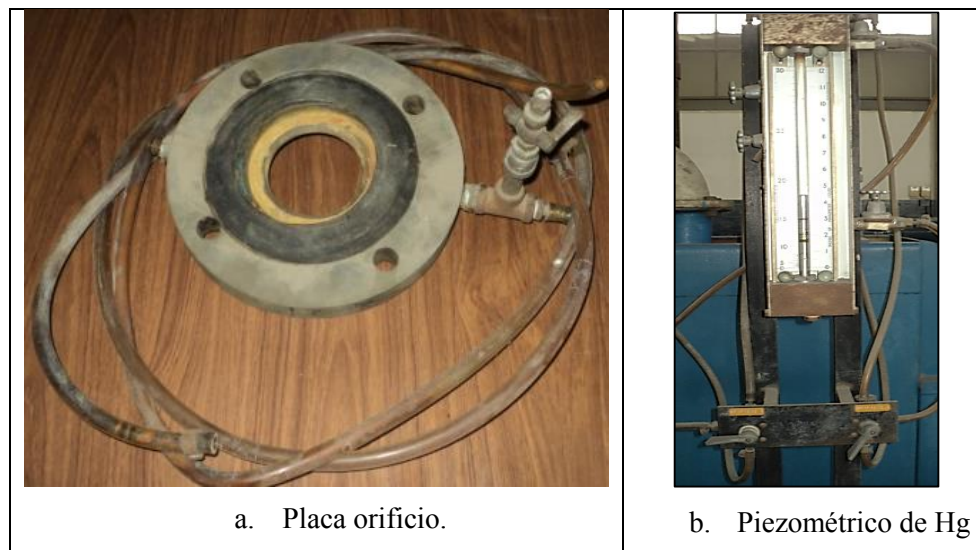
#### 4.2.2.3. Sistema de Control e instrumentación del banco de turbinas Pelton - Francis.

##### Características Técnicas de los diferentes dispositivos de Control e instrumentación

Los instrumentos de control hidráulico y mecánicos existentes en el banco en estudio son las siguientes:

- Piezómetro y Caudalímetro diferencial,
  - Manómetros,
  - Tacómetros,
  - Vertedero y medidor de nivel,
  - Freno Dinamométrico'
  - Torsiómetro.
- 
- **Piezómetro y Caudalímetro diferencial del banco de turbina Pelton-Francis.**

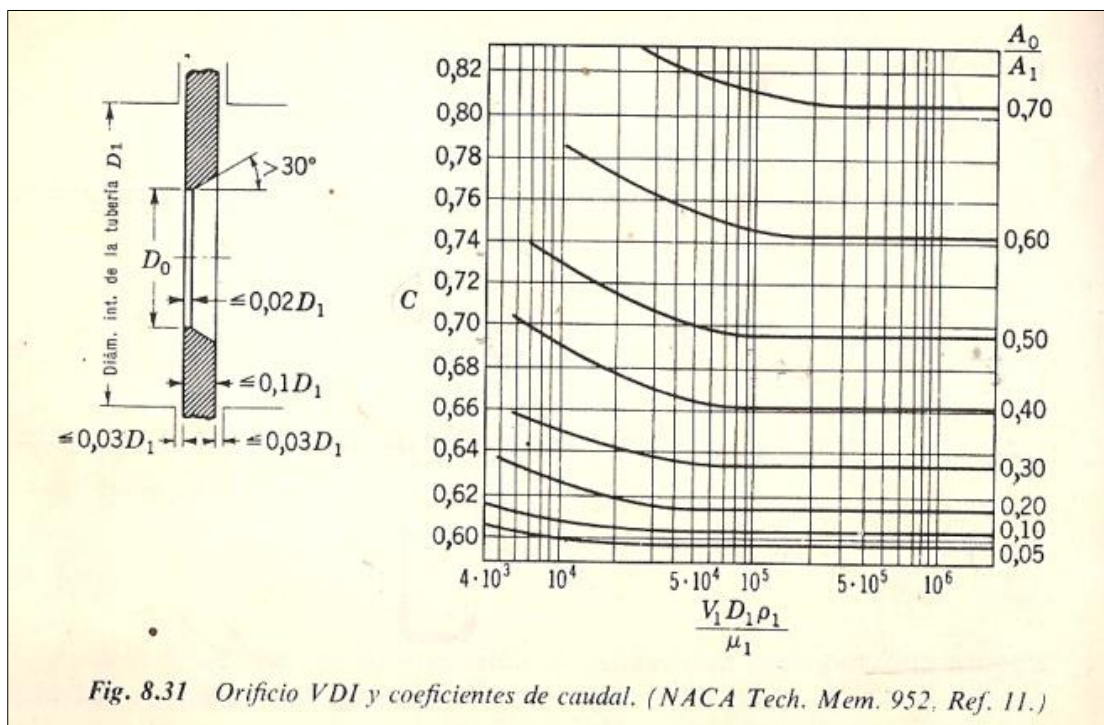
Este equipo está conformado por una **Placa orificio**, el cual genera la caída de presión en el interior de la tubería (Elemento primario, figura 4.26-a) y el **Piezómetro**, cuya función es medir y registrar este diferencial de presión de forma analógica (Elementos secundarios figura 4.26-b).



**Figura 4.26.** Dispositivos usados para medir diferencia de presión en el banco de Turbinas Pelton-Francis.

El banco de turbina cuenta con **dos (2) placas orificio**: una que está ubicada en la tubería de descarga de la bomba del sistema y la otra en la tubería para el llenado del tanque secundario, cuyo objetivo es medir el caudal y la diferencia de presión en esos tramos de tubería. Ambas placas están colocadas en tuberías que se encuentran en posición vertical.

La placa orificio en estudio, cumple con los valores estándar de diseño del VDI (Verein Deutscher Ingenieure) y para la obtención del coeficiente de caudal  $C$ , al igual que verificar las dimensiones de diseño, se puede usar la **Curva para la determinación del coeficiente de carga  $C$**  de la figura 4.27.



**Figura 4.27.** Curva para la determinación del coeficiente de carga  $C$ .

Las características técnicas de la Placa orificio y Piezómetro del banco de turbina Pelton-Francis se presentan en la tabla 4.32.

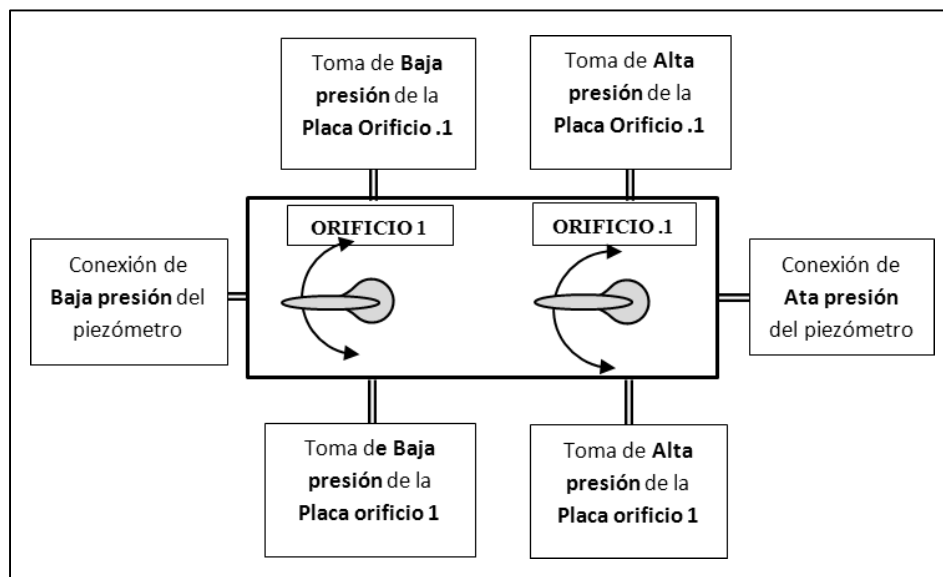
**Tabla 4.32.** Datos técnicos de la Placa orificio y Piezómetro del banco de turbina Pelton- Francis.

|                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------|--|
| <b>Placa orificio</b>                                        |  |
| Material: bronce mecanizado con acabado fino                 |  |
| Placa con orificio concéntrico para fijar entre bridas       |  |
| Espesor de la placa orificio (E) = 26 mm                     |  |
| Espesor de la vena contráctil: 2 mm                          |  |
| Diámetro del orificio: $2\frac{3}{4}'' = 69,85$ mm           |  |
| Diámetro del tubo: $4'' = 69,85$ mm                          |  |
| Espesor diafragma ( e) = $5/16'' = 8$ mm                     |  |
| Angulo de bisel = $30^\circ$                                 |  |
| Tomas en la cámara anular de la placa con $\varnothing 3$ mm |  |
| Diámetro de conexión de la toma: $3/8''$ NPT                 |  |
| <b>Dispositivo de medición</b>                               |  |
| Piezómetro de Hg con lectura analógica.                      |  |
| Rango piezómetro: 0- 20 in Hg.                               |  |
| Líquido manométrico = Mercurio (Hg)                          |  |
| Apreciación piezómetro: 1/10 in Hg                           |  |
| Caudalímetro piezómetro Hg con lectura analógica             |  |
| Rango Caudalímetro: 0– 300 GPM                               |  |
| Apreciación Caudalímetro: 5 GPM                              |  |
| Manifold del Piezómetro para tarar el equipo                 |  |

Para el uso de este equipo piezómetro, es importante considerar las siguientes acotaciones:

- La Toma de alta presión de la placa orificio debe ser colocada aguas arriba del agujero de la placa y la Toma de baja presión de la placa orificio debe ser colocada aguas abajo del agujero de la placa, ya que el principio básico de funcionamiento de este dispositivo es medir las presiones en ambos lados de la placa durante el ensayo.
- La cara de la placa en que se encuentra la vena contráctil, debe colocarse donde la presión es mayor (aguas arriba) y la cara de la placa en que se encuentra la orilla biselada, debe colocarse donde la presión es menor (aguas abajo).
- Las **válvulas T (Orificio 1 y Orificio .1)**, no trabajan independientemente una de otra, ya que la **válvula Orificio 1** direcciona el flujo de las tomas de baja presión de las

**placas orificio 1**, a la conexión de **baja presión** del piezómetro y la **válvula Orificio .1** direcciona el flujo de las tomas de **alta presión** de las **placas orificio .1** a la conexión de **alta presión del piezómetro**. Como se ve en la figura 4.28., si se gira las dos manillas (ORIFICIO 1, ORIFICIO .1) en *posición vertical hacia arriba*, se estará midiendo la presión y caudal en la **Placa Orificio .1**, pero si se coloca la manilla en *posición vertical hacia abajo*, se estará midiendo la presión y caudal en la Placa Orificio 1.

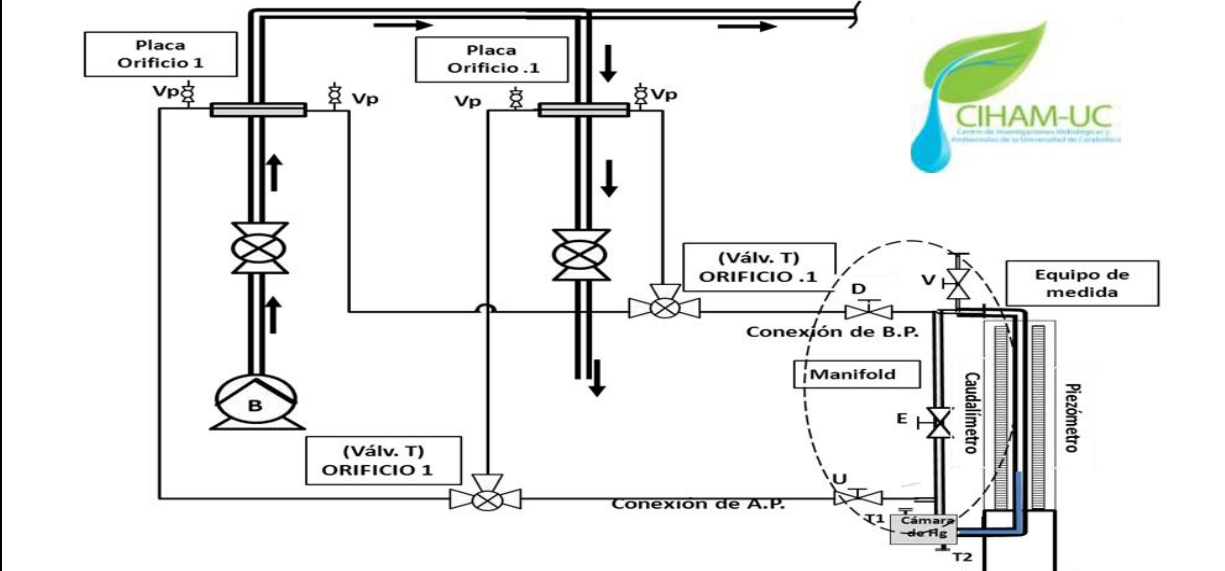


**Figura 4.28.** Diagrama de operación para la medición con el Piezómetro.

- Para la operatividad del piezómetro, se debe calibrar el equipo con ayuda del Manifold, con el cual se igualan las presiones en las tomas de baja y alta presión. Con este dispositivo también se ventea o purga el piezómetro.
- Se debe seguir las recomendaciones de uso del fabricante, las cuales serán presentada en el Anexo N° 9.

Los componentes que conforman el sistema de medición diferencial del banco de turbina Pelton- Francis en estudio, las cuales se pueden observar en la tabla 4.33, son los siguientes:

**Tabla 4.33.** Diagrama y caracterización de los componentes del sistema del piezómetro del banco de turbinas Pelton-Francis.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LEYENDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | IMAGEN REFERENCIAL                                                                   | CARACTERÍSTICA                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>VÁLVULAS DE REGULACIÓN</b></p> <p><b>D:</b> Válvula de entrada a la conexión de Baja presión al piezómetro.</p> <p><b>U:</b> Válvula de entrada a la conexión de alta presión al piezómetro.</p> <p><b>E:</b> Válvula de Equilibrio del equipo de medida.</p> <p><b>V:</b> Válvula de venteo equipo de medida.</p>                                                                                                                       |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cantidad:</b> 4 unidades</li> <li>• <b>Presión de trab.:</b> 60 psi</li> <li>• <b>Material:</b> Calamina,</li> <li>• Válvula tipo diafragma de dos (2) vías, Conexión macho-macho Ø 1/4" NPT.</li> </ul> |
| <p><b>Vp:</b> Válvula de pulga o eliminación de aire en tubería que va al piezómetro.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cantidad:</b> 4 unidades</li> <li>• <b>Presión de trab.:</b> 60 psi</li> <li>• <b>Material:</b> Bronce</li> <li>• Válvula de apertura rápida, de dos (2) vías, conexión macho, de Ø 1/4" NPT.</li> </ul> |
| <p><b>ORIFICIO 1:</b> Válvula direccional de flujo. Usada para la apertura entre la toma de <b>alta presión</b> de las placas <b>Orificio 1</b> y <b>Orificio .1</b> y la conexión de <b>alta presión</b> del piezómetro.</p> <p><b>ORIFICIO .1:</b> Válvula direccional de flujo. Usada para la apertura entre la toma de baja presión de las placas <b>Orificio 1</b> y <b>Orificio .1</b> y la conexión de baja presión del piezómetro.</p> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cantidad:</b> 2 unidades</li> <li>• <b>Material:</b> Bronce</li> <li>• Válvula de apertura rápida de 3 vías, tipo T, de baja presión, conexión hembra- hembra, de Ø 3/8", NPT.</li> </ul>                |

**Tabla 4.33.** Continuación.

|                                                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cámara de Mercurio</b>                                                                                        |    | Dispositivo que contiene el líquido manométrico usado en el piezometro(Hg). Esta hecho de acero inoxidable y está conectado por la parte inferior al cristal graduado.                           |
| <b>T1:</b> Tapón de <i>llenado</i> de la cámara de Hg.<br><b>T2:</b> Tapón de <i>vaciado</i> de la cámara de Hg. |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cantidad:</b> 2 unidades</li> <li>• <b>Material:</b> Bronce</li> <li>• Tapones machos de Ø 3/8" NPT, cabeza Hexagonal</li> </ul>                     |
| Adaptador con espiga para manguera y terminar macho(rosca externa)                                               |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cantidad:</b> 12 unidades</li> <li>• <b>Material:</b> bronce</li> <li>• Adaptador de Ø 1/4" en la espiga y tuerca hexagonal de 9/16" NPT.</li> </ul> |
| Manguera transparente tipo de PVC.                                                                               |    | Son aproximadamente 12 m de manguera de Ø 1/4" de mediana presión.                                                                                                                               |
| Abrazaderas Sinfín Miniatura de acero inoxidable                                                                 |  | <b>Cantidad:</b> 14 unidades<br>abrazaderas con Rango de 7/16 a 25/32", ancho de banda de 5/16", torque máx. 10 pulg/lbs.                                                                        |
| Niple macho de bronce y Te hembra de acero inoxidable                                                            |  | <b>Cantidad de niples:</b> 4 unidades, macho, Ø 3/8", NPT.<br><b>Cantidad de Te:</b> 2 unidades, hembra, Ø 3/8", NPT.                                                                            |

**Fuente:** Propia.

Otro componente que se debe citar es el siguiente:

➤ **Manifold del piezómetro:**

Es una tubería de bronce con Ø 1/4" y es la que conecta las múltiples válvulas del equipo, cuyas funciones son: calibrar el bloqueo de las fuentes de presión al registrador, purgar (despresurizar) el sistema y equilibrar la presión en las dos cámaras (de alta y baja presión). En el diagrama de la instalación del Piezómetro presentado en la tabla 4.33, se puede observar dicho manifold.

#### ➤ **Manómetros:**

El banco de **turbina Pelton-Francis**, solo cuenta con un (1) **manómetro Bourdon**, ubicado en el *Inyector* de la turbina Pelton y se usa para registrar la presión con que llega el agua al rodete de la turbina.

Las características del manómetro del inyector de la turbina Pelton se pueden apreciar en la tabla 4.34.

#### ➤ **Tacómetros:**

En el banco de turbinas Pelton-Francis, existen dos (2) tacómetro:

- **Tacómetros de turbinas Pelton:** está ubicado en la parte trasera del *freno Prony*, alineado al eje de la turbina y en contacto directo con el mismo. Tiene como función medir las revoluciones en las que gira el *rodete* de la turbina Pelton. Esta velocidad de giro puede estar afectada o no por el *Dinamómetro*. Las especificaciones técnicas del instrumento se muestra las en la tabla 4.34.
- **Tacómetro de la turbina Francis:** Tiene como función medir las revoluciones en las que gira el eje de la turbina, una vez que ha entregado parte de la potencia al **generador**. Está ubicado en la parte trasera del generador, alineado al eje de la turbina y en contacto directo con el mismo. En la tabla 4.34, se muestra las especificaciones técnicas de este instrumento:

#### ➤ **Torsiómetro:**

Este instrumento tiene como objetivo medir el **Par motor** o la **fuerza del giro** del generador de la turbina Francis y está instalado en una de dicho equipo. En la tabla 4.34, se presenta las características técnicas del Torsiómetro.

**Tabla 4.34.** Especificaciones de los Instrumentos de control y medición del banco de turbinas Pelton- Francis.

|  <b>FICHA TÉCNICO DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDICIÓN DIRECTA DE LOS BANCOS DE TURBINA PELTON- FRANCIS.</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>INSTRUMENTO</b>                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>MANOMETRO</b>                                                                                                                                                                                   | <b>Turbina Pelton</b><br> <p> <b>Manómetro Bourdon de mediana presión(sin marca)</b><br/> <b>Rango:</b> 0-160 feet of water(0-4,7 Bar)<br/> <b>Aprec.:</b> 5 feet of wáter<br/> <b>Diámetro de la esfera:</b> 100 mm<br/> <b>Conexión macho con rosca de 1/4” NPT</b><br/> <b>Material:</b> caja en acero pintado en negro </p> |
|                                                                                                                                                                                                    | <b>Turbina Francis</b><br> <p> <b>Tacómetro Analógico de contacto.</b><br/> <b>Marca: FOUNDROMETER &amp; LEEDS.</b><br/> <b>Rango:</b> 0 – 1400 RPM.<br/> <b>Apreciación:</b> min. 20 - máx. 350 RPM.<br/> <b>Diámetro de la esfera:</b> 150 mm.<br/> <b>Material:</b> caja en acero pintado en gris. </p>                      |
| <b>TACOMETROS</b>                                                                                                                                                                                  | <b>Turbina Pelton</b><br> <p> <b>Tacómetro Analógico de contacto,</b><br/> <b>Marca: FOUNDROMETER &amp; LEEDS.</b><br/> <b>Rango:</b> 0 – 3750 RPM.<br/> <b>Apreciación:</b> 100 RPM.<br/> <b>Diámetro de la esfera:</b> 150 mm.<br/> <b>Material:</b> caja en acero pintado en gris. </p>                                    |

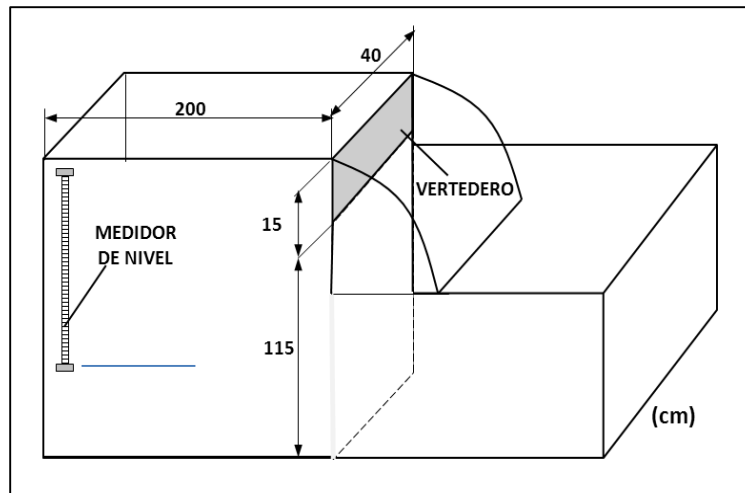
Fuente: Propia.

#### **Vertedero del banco de turbinas Pelton -Francis:**

El **Vertedero** se puede observar en el *Tanque o depósito secundario* del banco de turbina Pelton-Francis y está diseñado para realizar mediciones de caudal y verificar las condiciones iniciales del ensayo en el sistema. El agua que se usa en este vertedero, proviene de la línea L4 (tabla 4.15, pág. 61) y la usada en la turbina Francis durante el ensayo. Una vez que el agua rebosa el tanque secundario, descarga por el vertedero al *Tanque primario*.

Las características técnicas del Vertedero, cuyas dimensiones se pueden ver en la figura 4.29., son las siguientes:

- ✓ Es un Vertedero vertical con *canal rectangular*( 40 x 15 cm), con *cresta de contacto grueso*(esp.= 5 mm)
- ✓ En un lateral del tanque secundario, está colocado un **Medidor de nivel** de lectura directa, cuyo rango es 0 -115 Galones y la apreciación es 1 Gal.



**Figura 4.29.** Dimensiones del vertedero del banco de turbina Pelton-Francis.

#### ➤ **Freno Dinamométrico:**

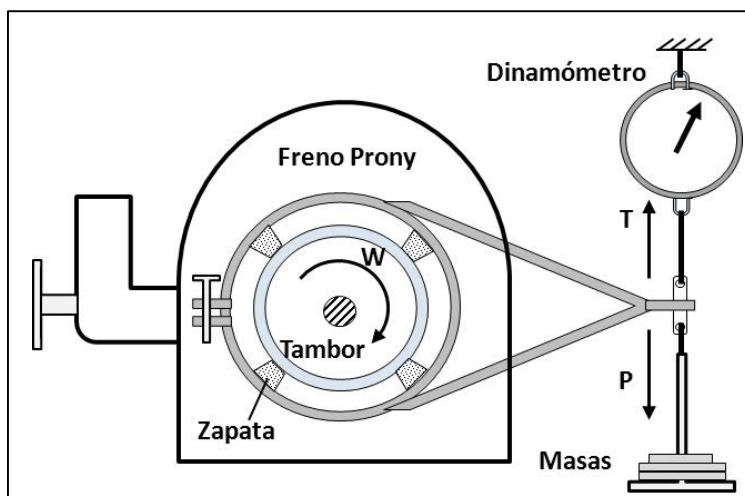
Es el dispositivo que se utiliza en el banco de prueba para medir la **Potencia al eje** o **al Freno** de las turbinas u otro equipo motor y está conformado por los siguientes componentes: Freno Prony, Pesas o masas y Dinamómetro de resorte.

##### ▪ **Freno Prony:**

En la actualidad, este tipo de dispositivo son muy poco usados para obtener la **Potencia en el eje** (o potencia al freno) de un equipo o motor, pero su sencillez, estabilidad y medición lo hacen muy utilizado para fines didácticos. Como se puede observar en los bancos de turbina Pelton y Kaplan en estudio, cada uno cuenta con un **Freno Prony**, constituido por un gran **tambor** de radio **R**, solidario al eje de la turbina, que es abrazado por las **zapatas**

regulables del freno. Forma parte de ellas el **brazo de longitud  $l$** , de cuyo extremo libre pende un **peso  $F$** .

El rozamiento entre las **zapatas del freno** y el **Tambor**, genera un momento que tiende a hacer girar el brazo, el cual es mantenido en equilibrio por el **peso  $F$**  que pende del extremo libre. En la fig. 4.30., se muestran los diagramas operativos de cada freno.



**Figura 4.30.** Diagrama operativo del **Freno dinamométrico** del banco de Turbina Pelton.

#### ▪ Pesas o masas:

Es parte de los accesorios del **Frenos dinamométricos** de la turbina Pelton y se usan para la obtención del Par Torsor en el eje de la misma. Son hechas de **Fundición de hierro** que varían en peso y tamaño (fig. 4.31.).



**Figura 4.31.** Masa usada en el Freno dinamómetros del banco de turbina Pelton.

A continuación se presenta una tabla 4.35 con las diferentes masas que existen en el banco:

**Tabla 4.35.** Masas usadas en el Freno dinamométrico del banco turbina Pelton.

| Masas                                 | 1 Lb | 2 Lb                                                                              | 4 Lb                                                                              | 10 Lb                                                                             | 40 Lb | Total / Banco | Total(lb) |
|---------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------|-----------|
| Existencia en banco de Turbina Pelton | 0    |  |  |  | 0     | 7 masas       | 36        |

Las diferentes masas anteriormente nombradas, se usan en las pruebas con las turbinas, combinándolas para obtener un peso determinado durante la toma de datos en el dinamómetro.

Para verificar que la cantidad de masas existentes en el laboratorio son suficientes para realizar las pruebas, se estimara el peso requerido para cada freno dinamométrico, tomando en cuenta las especificaciones técnicas de las turbinas.

Los valores nominales de la **Turbina Pelton** son los siguientes:

- Potencia en el eje (PHB) = **4,87 hp = 4,77 CV**
- Velocidad de giro Nominal= **730 RPM**

Para el cálculo del peso que se necesita para estabilizar la turbina a la velocidad de giro nominal, se usara la ecuación siguiente:

$$\text{Pot eje} = \frac{(2\pi \times L \times F \times N)}{(75 \times 60)} \cong \frac{L \times F \times N}{716}$$

*Ecuación 4.13*

**Dónde:**

**L:** Radio del brazo Torsor = **1,5 ft = 0,457 m**

**N:** Velocidad de giro (rpm)

**F:** Peso resultante (kgm)

Despejando **F** de la Ecuación 4.13 y sustituyendo los valores de la **Pot. eje**, **L** y **N**:

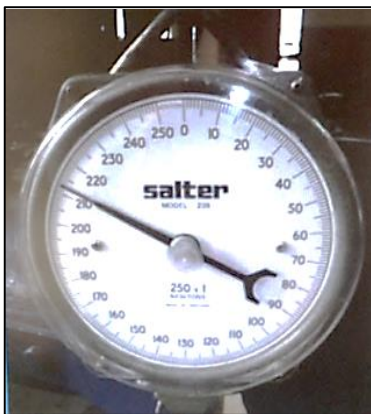
$$F = \frac{716 * \text{Pot eje}}{L * N} = \frac{716 * 4,77}{0,457 * 730} = 10,45 \text{ kg} = 23 \text{ lb}$$

**Masa estimación teórica = 23 lb < Masa existentes banco T. P. = 36 lb**

Las masas existentes en el banco son suficientes para realizar de las pruebas en el banco ya que superan en un **36 %** el valor teórico estimado.

▪ **Dinamómetro o balanza de resorte:**

A pesar de que actualmente el Freno dinamométrico de este banco carecen de **Dinamómetro**, a través de investigaciones de modelos de bancos similares y analizando el dispositivo en general, se pudo deducir que el dinamómetro era tipo **analógicos de Resorte** (figura 4.32.) con las siguientes características: **Dinamómetro analógico o digital de Resorte con capacidad o rango de 0-150 kg.**



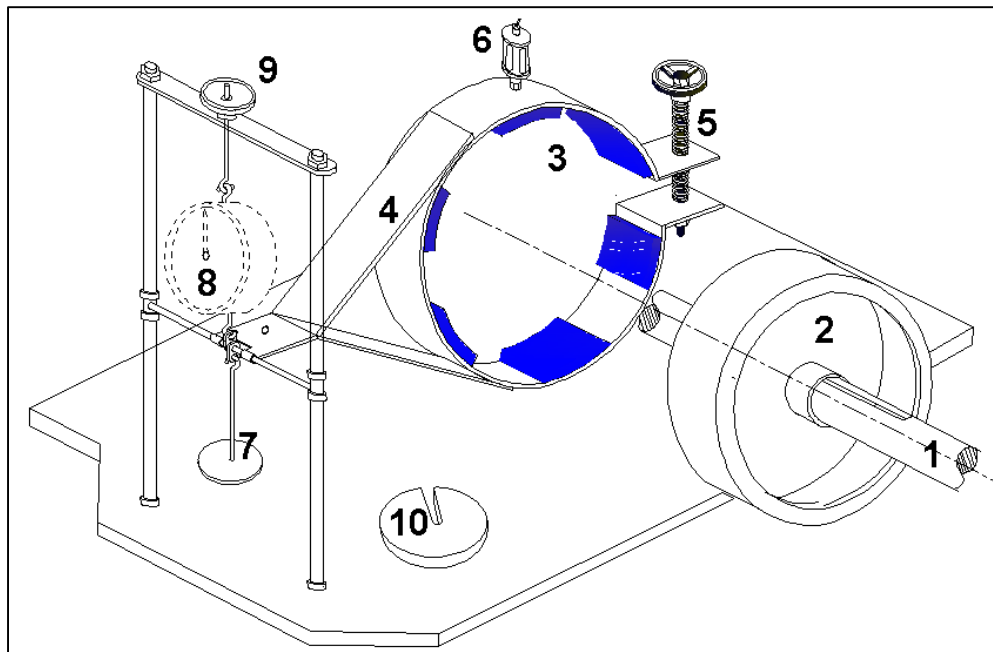
**Figura 4.32.** Dinamómetro analógico de Resorte.

**4.2.2.4. Sistema de transformación de la energía hidráulica a calórica del banco de turbina Pelton-Francis: Freno Prony.**

Uno de los aspectos más importantes que se pueden reseñar sobre el banco de turbina Pelton-Francis, es la realización de pruebas en las que se transforma la *energía mecánica* obtenidas por las turbinas en *energía calórica* (**freno Prony**). A continuación se describirán los componentes anteriormente nombrados:

### ➤ Freno Prony de la turbina Pelton.

A través de este dispositivo se puede obtener la **Potencia al eje** de la turbina Pelton a valores de **presión**, **caudal** y **R.P.M.** determinadas. En la figura 4.33., se puede ver el freno y los componentes que los constituyen:



**Figura 4.33.** Componentes del Freno Prony de la turbina Pelton.

- 1. Eje de la turbina Pelton:** Es el elemento o cuerpo a través del cual se mide la potencia producida en el eje de la turbina durante la transformación de la energía hidráulica en mecánica. El Tambor del freno Prony gira simultáneamente con el eje, ya que este fijado al mismo a través de una cuña y tornillos.
- 2. Tambor del Freno Prony:** elemento cilíndrico hueco que está conectado al eje de la turbina. En él actúan las fuerzas tangenciales que producen las **zapatas**, controlando la velocidad de giro del eje de la turbina por **frenado mecánica**.
- 3. Zapatas:** Pastillas de un material con alta resistencia al desgaste y a la fricción (**grafito/resina**), adherido a la **banda de acero** del freno.

4. **Banda del freno:** anillo de acero del mismo ancho y forma que el tambor. En él están adheridas las zapatas que entran en contacto con el tambor por la acción de los bazos que están soldados tangencialmente a la **Banda**.
5. **Resorte para la aplicación de la fuerza de freno Prony:** Dispositivo mecánico provisto de dos (2) resortes de empuje, que generan una fuerza radial al tambor del freno.
6. **Dispensador de aceite:** dispositivo usado para lubricar las pastillas de grafito/resina y disminuir la fricción entre las **Zapatas** y el **Tambor** del freno.
7. **Guindador de Masas:** Elemento usado para colocar un determinado número de masas de metal para que generen **peso**, que contraponga el **torque** que ocasiona el freno Prony.
8. **Dinamómetro analógico:** Equipo de medición para observar el **valor del Peso** que produce la tensión resultante entre el *Peso* y el *Torque* del eje de la turbina.
9. **Tensor del Dinamómetro:** Tornillo de ajuste que rosca en la barra superior de la base del dinamómetro, usado para guindar el Dinamómetro analógico.
10. **Masas o pesos metálicos:** Elementos usados para cambiar la tensión que controla la velocidad de giro del eje de la turbina a través del Freno Prony. Para la realización de las pruebas de determinación de *potencia al eje*, el banco cuenta con varias **masas** de diferentes magnitudes (**1, 4, 10, 40 lb**, entre otras).

Otras características que son importantes destacar del freno instalado del banco de turbina Pelton-Francis, se presentan en la tabla 4.36.

**Tabla 4.36.** Caracterización del freno Prony de la turbina Pelton.

|                                                                                   |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|  | <b>Datos técnicos del freno Prony de la turbina Pelton</b> |
| Tipo de freno: de banda con pastillas de <b>Grafito/resina</b> .                  |                                                            |
| Tipo de Actuador: freno mecánico de bandas y ajustado por resorte.                |                                                            |
| Número de Zapatas o pastillas : 6                                                 |                                                            |
| Diámetro del Tambor: Ø= 300 mm                                                    |                                                            |
| Tipo de enfriamiento del Tambor: por agua                                         |                                                            |
| Tipo de enfriamiento de las Zapatas : por aceite mineral                          |                                                            |
| Longitud del brazo torsor : 18”= 1,5 ft = 0,457 m                                 |                                                            |

**Fuente: Propia.**

#### **4.2.4.5. Sistema de generación de potencia, mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton- Francis.**

##### **Características técnicas del tablero de Mando y control eléctrico.**

El Sistema de generación de potencia, mando y control del banco de turbina Pelton-Francis, está conformado por:

- Motor- generador eléctrico de la turbina Francis,
- El Panel de control del banco y el Banco de resistencia.
  
- **Motor- generador eléctrico de la turbina Francis.**

Para la caracterización del **Motor-Generador** del banco de turbina Pelton-Francis, se recopiló información de los parámetros de funcionamiento en la placa de especificaciones técnica de la máquina, cálculos con dichos parámetros y de las características mecánicas y eléctricas del equipo (ver tabla 4.37).

**Tabla 4.37.** Características del *Motor-generator* del banco de turbina Pelton- Francis.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|  <div style="text-align: center;"> <b>CARACTERIZACIÓN DEL MOTOR-<br/>GENERADOR ELÉCTRICO DEL BANCO DE<br/>TURBINA FRANCIS</b> </div>  |                                                          |
| Marca: <b>HIGGS MOTORS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                | Año de fabricación: <b>1.964</b>                         |
| Tensión: 230 V (Trifásico)                                                                                                                                                                                                                                                                                | Corriente: 16,1 A                                        |
| Motor de 4 polos                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Velocidad de Giro: 2100 rpm                              |
| Potencia Útil = 4 hp = 2,98 kW                                                                                                                                                                                                                                                                            | Rating= 1 Hora                                           |
| Aislamiento Clase A (Temperatura máxima admisible del devanado: 105° C.)                                                                                                                                                                                                                                  | Frame 12 B, Motor con bastidor abierto a prueba de goteo |
| Motor-Generador Auto-excitado de Corriente Directa (D.C.)                                                                                                                                                                                                                                                 | Frecuencia: 50 Hz                                        |

**Fuente: Propia.**

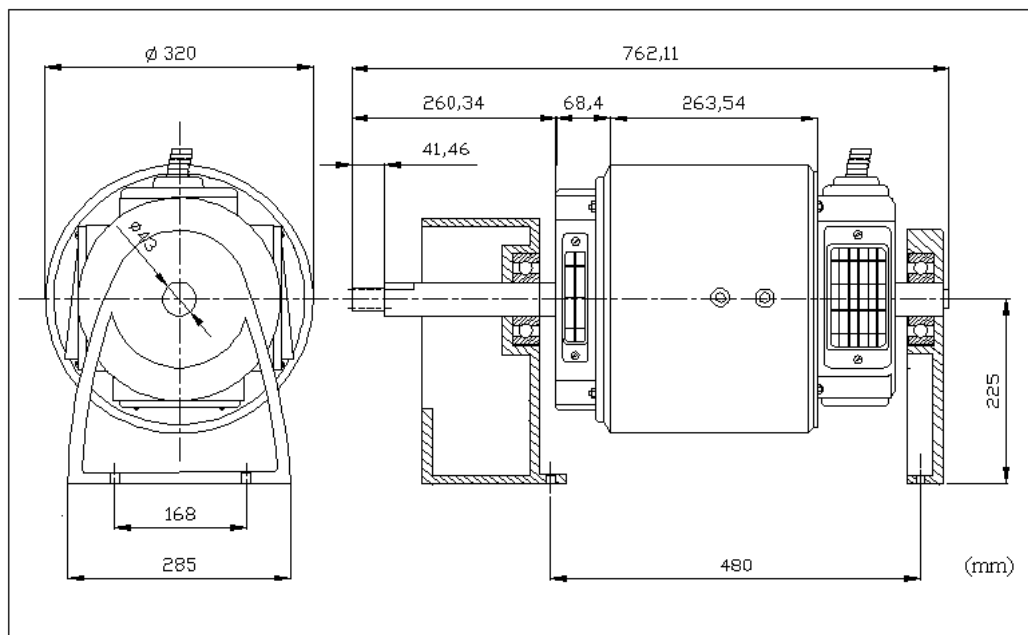
Es importante mencionar las siguientes consideraciones:

- La máquina eléctrica en estudio puede trabajar como Generador y como Motor. Como generador puede producir corriente directa (DC) y al invertir su polaridad en el panel de control, funcionaría como motor de corriente directa (DC).
- No se pueden realizar las curvas de eficiencia a plena carga y frecuencia vs. Potencia eléctrica de carga del Motor-Generador, ya que estas se realizan **EN SITIO** (entregadas por el fabricante).
- Frecuentemente el Factor de potencia (***Fp***) de las máquinas generadoras oscilan entre **0,8 a 0,85**, pero solo se tendrá certeza del valor del mismo, cuando sea reactivado y se elabore las **pruebas eléctricas** para determina los parámetros.
- La corriente y la frecuencia de salida del Generador son reguladas por medio de un **gobernado mecánico-hidráulico**.
- La **Potencia aparente** ( $S = VI$ ) en el caso del generador, cambiará de acuerdo al valor de las variables que se les asignan a la turbina durante el ensayo realizado y podrá

calcularse con la **tensión** y el **amperaje** observado en el amperímetro y voltímetro respectivamente del panel.

- Se requiere la realización de pruebas eléctricas especiales para la determinación de los siguientes parámetros de servicio: Factor de Potencia ( $\cos \varphi$ ), N° de polos, Potencia del generador (**PG**), Eficiencia del generador ( $\eta_G$ ), Sobrecarga permisible, entre otros.

A continuación se presentará un las dimensiones del Motor-Generador en estudio (según las normas NEMA para representar una máquina eléctrica):



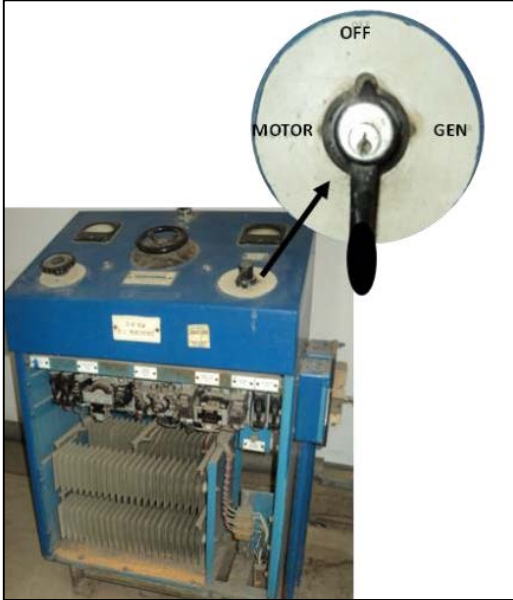
**Figura 4.34.** Dimensiones generales del Motor-Generador del banco de Turbinas Pelton- Francis.

#### ▪ Panel de control y el Banco de resistencia.

El Panel de control del banco y el Banco de resistencia son usados para las siguientes actividades:

- ✓ Para el cambio del **Motor- Generador** que se encuentran solidario al eje de la turbina Francis. Este equipo puede trabajar como generador si se tiene el **Selector** colocado en **GEN**, en este caso, se debe pasar el **Interruptor** que alimenta el banco de resistencia, cuya función es transformar la energía eléctrica en calor a través de las resistencias eléctricas que lo forman. Si se selecciona la opción **MOTOR**, el generador girará a la

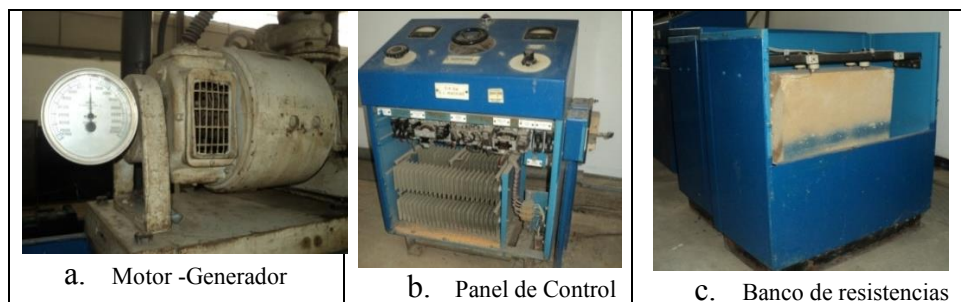
inversa o como motor y consumirá energía eléctrica que el Panel de control le proporcionará. En la figura 4.35, se puede ver el selector y el Panel de control.



**Figura 4.35.** Panel de control del banco de turbina Pelton Francis.

- ✓ Arranque y parada de la Bomba del sistema, indicando con una luz piloto cuando esté energizado el panel.
- ✓ Aumentar o reducir la velocidad de la Bomba del sistema.
- ✓ Indicar a través de un voltímetro la tensión consumida por la Bomba y con amperímetro la corriente producida por el generador.
- ✓ Incrementar o reducir la velocidad del motor-generador cuando trabaje como motor.
- ✓ Proteger los equipos controlados de eventualidades eléctricas como recalentamiento de las máquinas, sobre cargas, caídas de tensión, cortos circuitos, entre otros.

El banco de turbinas Francis y Pelton cuenta con un **Banco de resistencia**, cuya función es transformar la energía eléctrica producida por el generador con una capacidad de disipación de 3,7 kw . En la figura 4.36, se pueden ver los componentes anteriormente mencionados.



**Figura 4.36.** Componentes del Sistema de generacion electrica del banco de turbinas Pelton y Francis.

En la tabla 4.38., se presentan las caraterística del Panel de control y el banco de resistencia.

**Tabla 4.38.** Características del Sistema de mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton y Francis.

|                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                    |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                    | <div>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA<br/>MANDO Y CONTROL ELÉCTRICO<br/>DEL BANCO DE TURBINAS<br/>PELTON-FRANCIS.</div> |  |
| PANEL DE CONTROL                                                                                                                                                                    |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Armario del acero galvanizado con dimensiones ( L x A x H)= 0,4 x 0,6 x 1,10 m                                                                                                      |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Interruptor principal de mediana potencia.<br>250 V y 30 A, dos (2) posiciones (Off – On).                                                                                          |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Selector trifásico para el banco de resistencia de mediana potencia,<br>dos posiciones y con material refractario para altas temperaturas.                                          |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Voltímetro analógica con rango 0- 300 V.                                                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Amperímetro analógica con rango 0- 30 A.                                                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Selector con cerradura de protección para el cambio de motor a generador                                                                                                            |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Cable tipo TW, calibre 12, color rojo y negro.                                                                                                                                      |                                                                                                                    |                                                                                     |
| CIRCUITO DE PROTECCIÓN Y POTENCIA                                                                                                                                                   |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Caja de fusibles de mediana potencia, para tres (3) líneas.                                                                                                                         |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Dos armario del banco de resistencia recubiertas de refractario del acero galvanizado, con<br>dimensiones ( L <sub>1</sub> x A <sub>1</sub> x H <sub>1</sub> )= 0,3 x 0,78 x 0,74 m |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Cable tipo TW, calibre 1/0 y 600 V, color negro.                                                                                                                                    |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Transformador Variable (0-250 V)                                                                                                                                                    |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Cable tipo TW, calibre 12, color rojo y negro.                                                                                                                                      |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Contactor electromagnético de tres (3) polos, una potencia máxima de 15 hp,<br>una tensión máxima de 600 V                                                                          |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Relé térmico para sobrecarga en el sistema (máximo 130°).                                                                                                                           |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Un Fusil de protección de 30 A Pilotos luminosos (power-on).                                                                                                                        |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Regleta bornera para cables calibre 10.                                                                                                                                             |                                                                                                                    |                                                                                     |
| Resistencias con aletas de Aluminio.                                                                                                                                                |                                                                                                                    |                                                                                     |

**Fuente:** Propia.

#### **4.3. DIAGNOSTICAR EL ESTADO ACTUAL DE CADA SISTEMA QUE FORMA LOS BANCOS DE TURBINA.**

Para la exposición de los resultados del diagnóstico de los bancos de turbina, se procederá a desarrollarse en el siguiente orden:

- Diagnóstico del **Sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbinas.**
- Diagnóstico del **Sistema de abastecimiento de agua a los bancos de turbinas.**
- Diagnóstico del **Banco de pruebas de la turbina Kaplan.**
- Diagnóstico del **Banco de pruebas de la turbina Pelton - Francis.**

##### **4.3.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO DE LOS BANCOS DE TURBINAS.**

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos durante la evaluación diagnóstica realizada en los Sistemas de Alimentación Eléctrica de los bancos de turbina Kaplan, Pelton y Francis del Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz”, identificados en el plano de la figura 4.37.

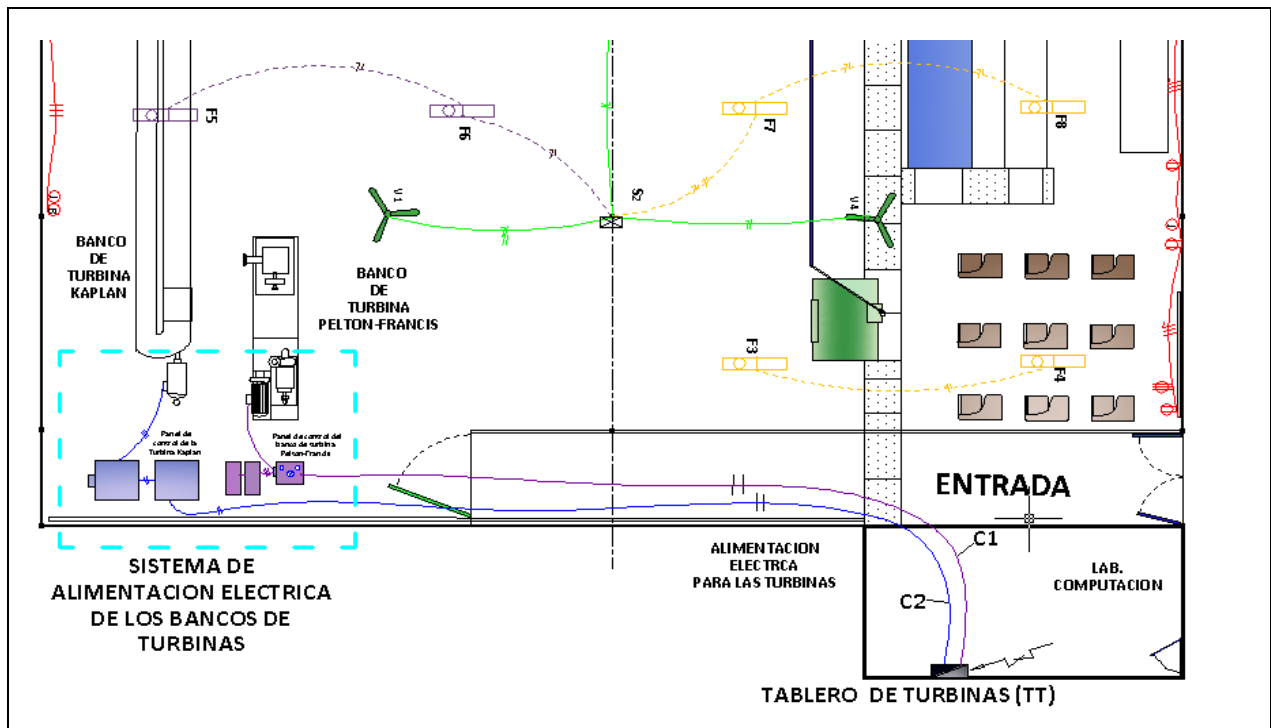
##### **Estado actual del Sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbinas.**

Los circuitos **C<sub>1</sub>** y **C<sub>2</sub>** que provienen del **Tablero (TT)** que se encuentra en el laboratorio de computación de Ingeniería Civil (al lado del Departamento de Hidráulica), son las líneas que alimentan a cada **módulo de Arranque y control** de los motores de las bombas de los bancos de turbinas a través de una canalización por bandeja de cables de **calibre # 4** por fase.

Entre las apreciaciones que se pudieron obtener en la inspección eléctrica de este Sistema, se encuentran:

- El tablero **TT**, del cual derivan los circuitos **C<sub>1</sub>** y **C<sub>2</sub>** (ver figura 4.37.) se encuentran a más de 50 m de distancia de los bancos de turbinas, así como también el acceso al laboratorio de computación, es restringido y por lo tanto dificulta la **activación** o

**desactivación** rápida de los bancos de turbinas desde los correspondientes **breakers** del tablero.



**Figura 4.37.** *Sistemas de Alimentación Eléctrica actual* de los bancos de turbinas del Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz”.

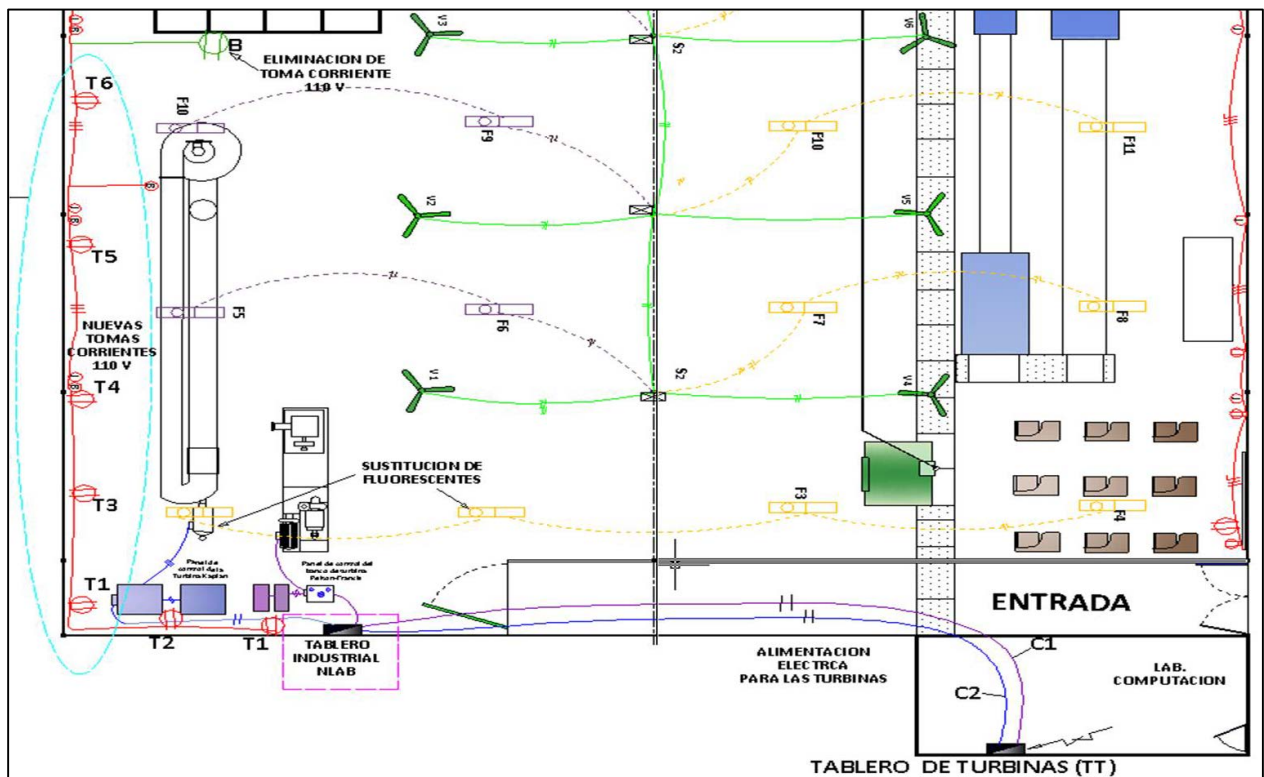
- No existen **Tomas de corriente de 110 V** en el área en donde se encuentran los bancos de turbinas.
- La iluminación es deficiente en el área donde se encuentran los bancos de turbinas.
- Existe un punto con cajetín en piso instalado cerca del banco de la turbina Kaplan, al cual llega un circuito trifásico alimentado desde el tablero de turbinas (TT), con conductores calibre # 10 sin neutro (Figura 4.38.).



**Figura 4.38.** Cajetín en piso con alimentación trifásica.

### Resultado del diagnóstico:

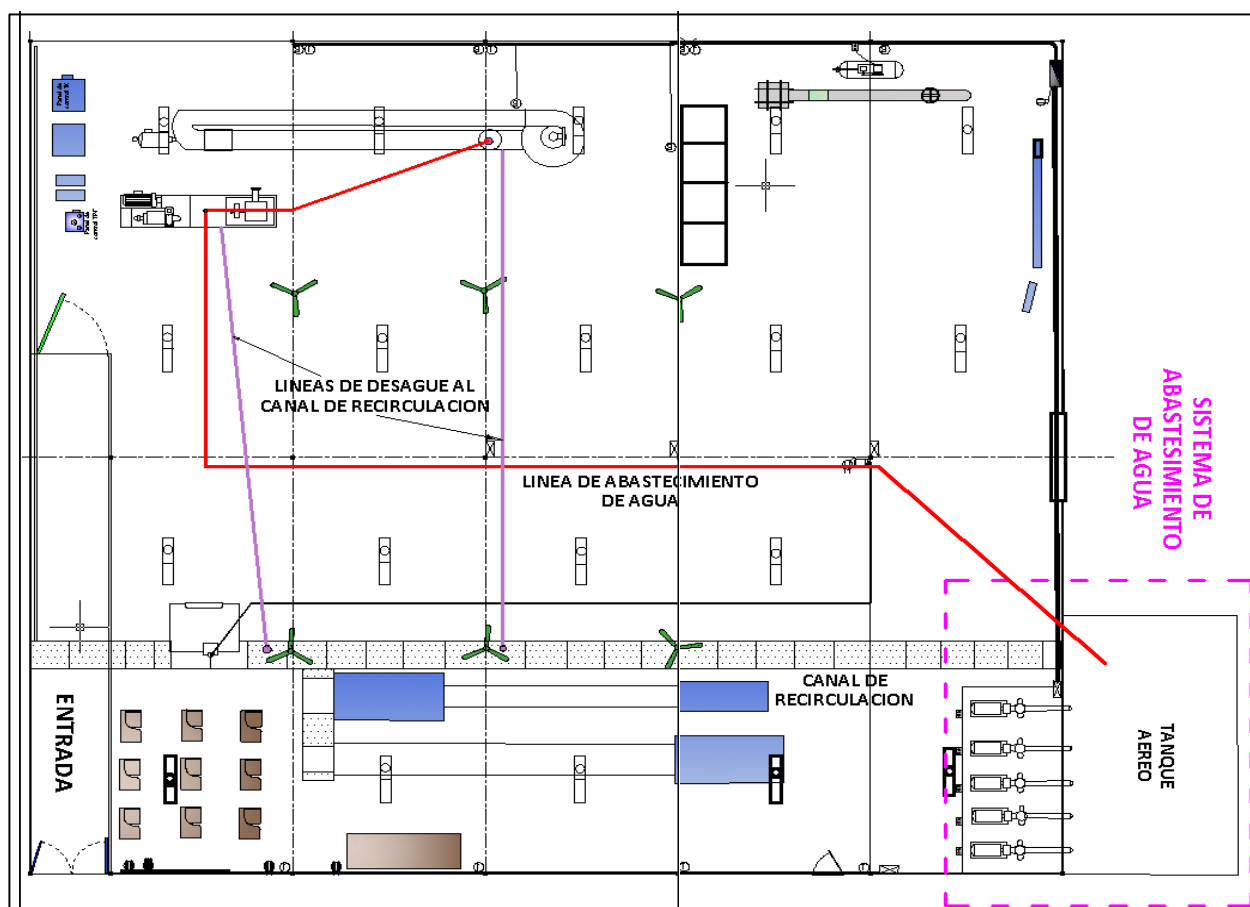
- Instalar un nuevo **Tablero NAB 412** para empotrar y *breakers* trifásicos de **100 A**, el cual deberá ser ubicado en el punto indicado en el plano de la figura 4.39. (centro de carga). El propósito del nuevo tablero es permitir la desactivación de los bancos de turbinas de manera rápida y segura en caso de presentarse una falla.
- Instalar un circuito de diez (10) tomacorrientes monofásicos para su uso en la alimentación de la instrumentación electrónica de monitoreo y control previsto en para las prácticas en los bancos de turbinas. (ver figura 4.39.). Este circuito irá conectado al Tablero Principal del Laboratorio.
- Sustitución de fluorescentes deficientes que se encuentran en el área de los bancos de turbinas.
- Eliminación y corte de la acometida eléctrica del Cajetín superficial al piso, ubicada cerca de la turbina Kaplan.



**Figura 4.39.** Mejoras sugeridas al *Sistema de Alimentación eléctrica* de los bancos de turbinas.

#### 4.3.2. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LOS BANCOS DE TURBINAS.

Como se puede observar en la sección del plano del Laboratorio de hidráulica de la figura 4.40., el *Sistema de abastecimiento de agua* para los bancos de turbinas, está diseñado para que provenga del *Tanque aéreo* del laboratorio y posteriormente pueda retornar al *Tanque Subterráneo* a través del *Canal de desagüe de recirculación* (Circuito cerrado).



**Figura 4.40.** Sistema de abastecimiento de agua para los bancos de turbinas del laboratorio de hidráulica.

#### Estado actual del Sistema de abastecimiento de agua de los bancos de turbinas.

La Línea de abastecimiento de agua que va al banco de turbina Pelton y Francis, está **Desmantelada**, así como también la derivación de esta que suministra el agua al banco de turbina Kaplan (fig. 4.41.).



**Figura 4.41.** Línea de abastecimiento de agua a los bancos de turbinas.

### **Resultado del diagnóstico:**

- Instalación de la tubería requerida para el abastecimiento del agua en los bancos de turbinas. Se recomienda que la tubería que se adquiera sea de igual diámetro que la que estuvo colocada en el banco de la turbina Pelton ( $\varnothing 2''$ ) y preferiblemente de plástico o PVC.
- La derivación que se instale hacia el banco de la turbina Kaplan, debe conectarse en la parte superior de **Torre estabilizadora**, que es donde se encuentra la entrada a la ductería de este banco.

### **4.3.3. DIAGNÓSTICO DEL BANCOS DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN.**

En el desarrollo de este punto de la investigación, se ha estado aportando y recabando información sobre la ejecución de un proyecto marco que está directamente ligado al tema de interés. El proyecto fue aprobado por **Fonacit** en el año 2.014 y es coordinado por **CIHAM-UC** y lleva por nombre: **REACTIVACIÓN DE TRES BANCOS DE PRUEBA DE GENERADORES ELÉCTRICOS DE ALTA, MEDIA Y BAJA POTENCIA PARA LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA, LABORATORIO DE HIDRÁULICA ELÍAS SÁNCHEZ, UNIVERSIDAD DE CARABOBO**. Para la ejecución de dicho proyecto también se ha contado con el apoyo Técnico y financiero de **Corpoelec**, el cual ha sido importante.

El desarrollo del trabajo de investigación plasmado en este material, titulado **PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL-UC**, está vinculado a dos (2) de las tres (3) fases en las que se ejecutará el *proyecto macro* anteriormente nombrado. Esta fase son las siguientes:

- **PRIMERA FASE:** *Reactivación de tres (3) bancos de turbinas en el laboratorio de hidráulica Elías Sánchez de la U.C., que contempla dos (2) etapas:*
  - **Primera Etapa:** Puesta en funcionamiento de la *turbina Kaplan*,
  - **Segunda Etapa:** Puesta en funcionamiento de la *turbina Pelton y Francis*.
  
- **SEGUNDA FASE:** *Elaboración de las Curvas características de las turbinas Pelton, Francis y Kaplan en el laboratorio de hidráulica Elías Sánchez de la U.C., que contempla dos (2) etapas:*
  - **Primera Etapa:** Establecer los requerimientos instrumentales necesarios para el registro de valores en los banco y su posterior adquisición e instalación.
  - **Segunda Etapa:** Elaboración de un manual de usuario para cada banco y propuestas ensayos en los mismos.
  
- **TERCERA FASE:** *Modernización y automatización de los bancos de turbinas Pelton, Francis y Kaplan en el laboratorio de hidráulica Elías Sánchez de la U.C.*

#### **Diagnóstico y reporte de la revisión.**

En los actuales momentos, se ha logrado el **99% de la reactivación de la turbina Kaplan**, que incluye la operatividad y realización de las curvas características de dicha turbina. El diagnóstico que se presentó a inicios de la ejecución de este proyecto por parte de los participantes (Docentes y Técnicos de la UC, Tesista de pre-grado y Técnicos de Corpoelec), fue el siguiente:

**Tabla 4.39.** Reporte de la revisión del banco de *turbina Kaplan*.

|                                                                                   |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                              |  |                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                                                       | FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                              |  |                                                                            |
|                                                                                   |                                                                                                                       | BANCO DE TURBINAS KAPLAN                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                              |  |                                                                                                                                                               |
| Marca:<br>GILKES                                                                  |                                                                                                                       | Serial:<br>5960                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Datos técnicos:<br>Hn=10 ft      BPH= 3,56 hp      RPM= 1070 |  | Fecha: 10-11-2013                                                                                                                                             |
| Nº                                                                                | COMPONENTE                                                                                                            | DIAGNÓSTICO                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                              |  | RECOMENDACIÓN                                                                                                                                                 |
| 1                                                                                 | UNIDAD MAOTORA DE LA BOMBA AXIAL<br> | <ul style="list-style-type: none"><li>Abundante polvo y sulfatación de conexiones en el Panel y banco de resistencia.</li><li>Atascamiento del eje del motor y presencia de polvo en el interior del mismo.</li></ul>                                                                              |                                                              |  | Mantenimiento y realización de Pruebas eléctricas en el <b>Panel de control y Unidad motora</b> del banco de turbinas.                                        |
| 2                                                                                 | BOMBA AXIAL<br>                      | <ul style="list-style-type: none"><li>Presencia de sulfatación de hierro y tierra en el interior de la bomba.</li><li>Atascamiento del eje y hélice de la bomba.</li><li>Bomba con desnivel, el Vinil sucio.</li></ul>                                                                             |                                                              |  | Mantenimiento mecánico de la <b>Unidad de bombeo</b> (bomba axial).                                                                                           |
| 3                                                                                 | DUCTERIA DE LA TURBINA KAPLAN<br>   | <ul style="list-style-type: none"><li>Empaquetaduras de las conexiones endurecidas y con fisuras.</li><li>Presencia de tierra y sulfato de hierro en el interior de los tubos.</li><li>Presencia de fugas hidráulicas en las uniones.</li></ul>                                                    |                                                              |  | Mantenimiento general de la Ductería del banco.                                                                                                               |
| 4                                                                                 | TURBINA KAPLAN<br>                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Atascamiento del eje, distribuidor, biela y manivela de la turbina.</li><li>Presencia de sulfato de hierro en el interior de la turbina.</li><li>Ausencia de componentes o partes de la turbina.</li></ul>                                                   |                                                              |  | Mantenimiento mecánico de la <b>turbina Kaplan</b> .                                                                                                          |
| 5                                                                                 | FRENO PRONY<br>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>Ausencia de dinamómetro, guaya, mangueras y válvulas.</li><li>Faltan manómetros y Vacuómetros en la entrada y salida de la turbina y la bomba.</li><li>Faltan manómetro en la placa orificio.</li><li>Falta un visor en el estabilizador de flujo.</li></ul> |                                                              |  | Sustitución e incorporación de <b>Instrumentos de control y medición</b> : manómetros, mangueras, válvulas y otros componentes en el banco de turbina Kaplan. |
| 6                                                                                 | PLACA ORIFICIO<br>                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Esta desconectado el banco <b>Piezométrico agua-aire</b> de la ductería que presenta la placa orificio.</li><li>La placa orificio presenta sulfato de hierro y tierra adheridos en las caras.</li><li>Tomas y válvulas tapadas</li></ul>                     |                                                              |  | Mantenimiento de la <b>placa orificio, tomas, válvula y colocación del banco Piezométrico</b>                                                                 |

**Tabla 4.39.** Continuación.

|   |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | <p><b>TORRE ESTABILIZADORA DE FLUJO</b></p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La tubería de suministro y vaciado del agua al banco se encuentra desmantelada.</li> <li>▪ No se puede observar el nivel de agua dentro del estabilizador.</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar tubería y válvulas de control de suministro y vaciado de agua en el banco.</li> <li>• Instalar <b>visor</b> de nivel en el Estabilizador</li> </ul>      |
| 8 | <p><b>INTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El único manómetro existente en el banco tiene un rango (0- 160 psi) no acorde al que se espera en la salida de la turbina (-5 a 5 psi).</li> <li>▪ Se requiere manómetros y Vacuómetros en la bomba y turbina.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Establecer el rango de presiones de los manómetros y Vacuómetros que se usaran en el banco.</li> <li>▪ Los manómetros deben ser bañados en glicerina.</li> </ul> |

#### **4.3.4. DIAGNÓSTICO DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA PELTON - FRANCIS.**

Antes de comenzar con el *Diagnóstico de este sistemas*, es importante destacar que *ningún equipo esta operativos* actualmente en este banco.

Para la exposición del diagnóstico de las condiciones en que se encuentran este banco, *se mantendrá el formato en cuanto a la estructura del objetivo anterior (Caracterización de los sistemas que conforman los bancos de turbinas)*, en otras palabras, tendrá la siguiente secuencia:

- Diagnóstico del Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica en los bancos de turbinas,
- Diagnóstico del Sistema de simulación del recurso hidráulico en los banco de turbinas,
- Diagnóstico del Sistema de Control e instrumentación en los bancos de turbinas,
- Diagnóstico del Sistema de transformación de energía mecánica a calórica de los bancos de turbinas,

- Diagnóstico del Sistema de mando y control eléctrico en los bancos de turbinas.

#### **4.3.4.1. Diagnóstico del Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica del banco de prueba de la Turbina Pelton y Francis.**

Para el desarrollo de este diagnóstico, se hicieron inspecciones visuales basadas en el *Desarme de equipos y componentes del banco (programado y supervisado), rotación de los ejes de las Turbomáquina, revisiones del panel de control, revisión de los instrumentos de medición y control (manómetros, freno Prony y tacómetros), entre otros.*

##### **Estado actual de la Turbina Pelton.**

En la caracterización de los sistemas que forman la turbina Pelton, se pueden apreciar imágenes que muestran en qué condiciones se encuentran los componentes que se evaluaron y que en la tabla 4.40, se encuentran los **resultados**.

##### **Estado actual de la Turbina Francis.**

En la tabla 4.41, se encuentran los **resultados** de la revisión hecha en la Turbina Francis y en la caracterización de los componentes que conforman los sistemas de la turbina, se pueden apreciar imágenes que muestran en qué condiciones se encuentran muchos de los componentes inspeccionados.

**Tabla 4.40.** Evaluación Técnica de los componentes que forman la *turbina Pelton*.

|                                                                                                                                                                                                  |                              |                                                                                                    |         |       |                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                  |                              | FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO                                                                           |         |       |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                  |                              | Sistema de transformación de energía hidráulica en mecánica del Banco de Turbinas Pelton- Francis. |         |       |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                  |                              | Máquina : TURBINA PELTON                                                                           |         |       |                                                       |
| Marca:<br>GILKES                                                                                                                                                                                 | Serial:<br>5961              | Datos técnicos:<br>Hn= 30,5 m      Pot = 4,87 hp      RPM=730                                      |         |       |                                                       |
| ESTADO TÉCNICO                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                    |         |       | Fecha: 25-05-2014                                     |
| COMPONENTE                                                                                                                                                                                       |                              | Malo                                                                                               | Regular | Bueno | OBSERVACIONES                                         |
| Rodete                                                                                                                                                                                           | Rueda                        |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Cucharas                     |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| Injector                                                                                                                                                                                         | Tobera del inyector          |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Aguja del Inyector           |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Deflector fijo               |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| Sistema de regulación                                                                                                                                                                            | Cruceta Quía                 |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Vástago de Aguja             |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Prensa estopas               |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Volante de aguja             |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Prensa estopa                |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
|                                                                                                                                                                                                  | Empaquetadura                |                                                                                                    | x       |       | Sustituir, debido a los años de elaboración y desuso. |
| Rodamientos                                                                                                                                                                                      | Cojinete fijo en la carcasa  |                                                                                                    |         | x     | Sin atascamiento ni ruidos que supongan defectos.     |
|                                                                                                                                                                                                  | Cojinete fijo al freno Prony |                                                                                                    |         | x     | Sin atascamiento ni ruidos que supongan defectos      |
| Carcasa de la Turbina                                                                                                                                                                            |                              |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| Eje de la Turbina                                                                                                                                                                                |                              |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| Tuerca de eje y cuña de sujeción.                                                                                                                                                                |                              |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| Distribuidor de la turbina                                                                                                                                                                       |                              |                                                                                                    |         | x     | Presenta buen estado mecánico y superficial.          |
| <b>Resultado del diagnóstico:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Realizar mantenimiento general a la turbina,</li><li>Sustitución de la empaquetadura del Vástago del inyector.</li></ul> |                              |                                                                                                    |         |       |                                                       |

**Tabla 4.41.** Evaluación Técnica de los componentes que forman la *turbina Francis*.

|                                                                                                                                                                     |                                          |                                                                                                           |                                                                    |              |                                                        |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                    |                                          | <b>FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO</b>                                                                           |                                                                    |              |                                                        |  |
|                                                                                                                                                                     |                                          | <i>Sistema de transformación de energía hidráulica en mecánica del Banco de Turbinas Pelton- Francis.</i> |                                                                    |              |                                                        |                                                                                     |
|                                                                                                                                                                     |                                          | <b>Máquina : TURBINA FRANCIS</b>                                                                          |                                                                    |              |                                                        |                                                                                     |
| <b>Marca:</b><br><b>GILKES</b>                                                                                                                                      |                                          | <b>Serial:</b><br>5962                                                                                    | <b>Datos técnicos:</b><br><b>Hn= 160 ft   BPH= 4 hp   RPM= 800</b> |              |                                                        |                                                                                     |
| <b>ESTADO TÉCNICO</b>                                                                                                                                               |                                          |                                                                                                           |                                                                    |              |                                                        | Fecha: 28-06-2014                                                                   |
| <b>Nº</b>                                                                                                                                                           | <b>COMPONENTE</b>                        | <b>Malo</b>                                                                                               | <b>Reg.</b>                                                        | <b>Bueno</b> | <b>OBSERVACIONES</b>                                   |                                                                                     |
| 1                                                                                                                                                                   | Cámara Espiral                           |                                                                                                           |                                                                    | x            | Presenta buen estado mecánico y superficial.           |                                                                                     |
| 2                                                                                                                                                                   | Tubo de entrada                          |                                                                                                           |                                                                    | x            | Sin ninguna avería visible.                            |                                                                                     |
| 3                                                                                                                                                                   | Tubo de aspiración                       |                                                                                                           |                                                                    | x            | Sin ninguna avería visible.                            |                                                                                     |
| 4                                                                                                                                                                   | Gobernador hidráulico                    |                                                                                                           |                                                                    | x            | Sin ninguna avería visible.                            |                                                                                     |
| 5                                                                                                                                                                   | Rodete de la Turbina                     |                                                                                                           |                                                                    | x            | Presenta buen estado mecánico.                         |                                                                                     |
| 6                                                                                                                                                                   | Pre-distribuidor                         |                                                                                                           |                                                                    | x            | Presenta buen estado mecánico.                         |                                                                                     |
| 7                                                                                                                                                                   | Alabes móviles del distribuidor          |                                                                                                           |                                                                    | x            | Presenta buen estado mecánico.                         |                                                                                     |
| 8                                                                                                                                                                   | Manivelas de los alabes del distribuidor |                                                                                                           |                                                                    | x            | Mecanismo en buen estado.                              |                                                                                     |
| 9                                                                                                                                                                   | Anillo regulador del distribuidor        |                                                                                                           |                                                                    | x            | Mecanismo en buen estado.                              |                                                                                     |
| 10                                                                                                                                                                  | Sello mecánico                           |                                                                                                           |                                                                    | x            | Presenta buen estado mecánico.                         |                                                                                     |
| 11                                                                                                                                                                  | Rodamientos                              |                                                                                                           |                                                                    | x            | Sin atascamiento ni ruidos que hagan suponer defectos. |                                                                                     |
| <b><u>Resultado del diagnóstico:</u></b>                                                                                                                            |                                          |                                                                                                           |                                                                    |              |                                                        |                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Realizar mantenimiento general a la turbina y gobernador,</li><li>Realizar pruebas de funcionamiento en la turbina.</li></ul> |                                          |                                                                                                           |                                                                    |              |                                                        |                                                                                     |

En el resultado de la revisión técnica de la turbina Francis (tabla 4.41), se puede observar que la turbina se encuentra en **Buen Estado** y puede estar en funcionamiento después de un *mantenimiento mecánico general* y la puesta en funcionamiento de la bomba del banco en estudio.

#### 4.3.4.2. Diagnóstico del Sistema de Simulación del recurso hidráulico en el banco de Turbina Pelton - Francis.

Para la exposición de los resultados del diagnóstico de este Sistema, se trabajará con los tres (3) principales componentes que lo conforman, los cuales son:

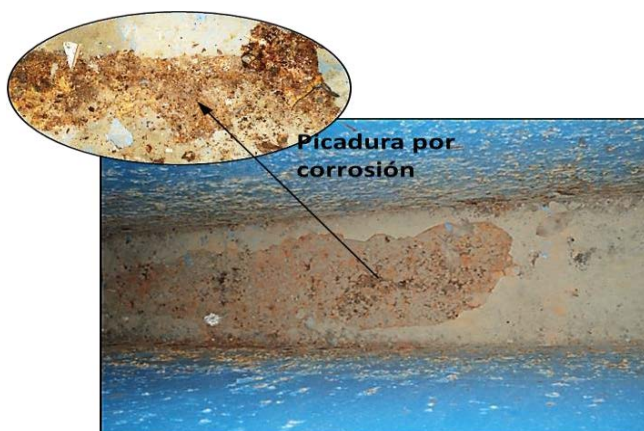
- El **Depósito** para el agua usada en los ensayos a realizar en el banco de turbinas y
- La **Bomba hidráulica** del banco de prueba,
- La **Tubería** y accesorios usados en la aducción y conducción del agua hacia turbina y al resto del banco.

##### Estado actual de los *Depósitos para agua*.

Luego de una inspección técnica hecha al **Depósito** del banco en estudio con respecto a sus condiciones mecánicas, se obtuvieron los siguientes resultados:

- De manera general, el tanque se encuentra en **condiciones mecánicas aceptables**, aunque no está corregir reparaciones superficiales.
- La superficie de las **paredes externas** están en *buenas condiciones*, sin presencia de corrosión superficial.
- La superficie de las **paredes internas**, presenta *corrosión por picadura* debajo de la pintura.

El fondo de los tanques presenta *levantamiento de pintura y picaduras por corrosión general* (fig. 4.42.).



**Figura 4.42.** Condiciones en las cuales se encuentra el fondo del Depósito del banco.

### **Resultado del diagnóstico de los depósitos de agua:**

- Realizar **Prueba de fugas** hidráulicas.
- En el caso de observar corrosión ***por picadura o grieta***, se debe realizar un trabajo metalmecánico para la remoción del material deteriorado.
- Utilizar un revestimiento **epóxico de alta resistencia** a la corrosión para cubrir las paredes internas y el fondo de los tanques. La preparación de las superficies y la aplicación de la pintura dependerá de las recomendaciones del fabricante (ver Anexo N° 10).
- Repintado de las paredes externas del tanque con **Pintura en esmalte industrial**. La aplicación puede ser a brocha, rodillo o pistola.
- Levantar o voltear el depósito para inspeccionar las condiciones en que se encuentra la parte externa del piso. De acuerdo a lo que se observe, se deberá hacer las reparaciones pertinentes.

### **Estado actual de la Bomba hidráulica.**

La exposición de los **resultados** de la inspección de la Bomba, se hará separando dicho equipo en las unidades que la integra, es decir: ***la Unidad de bombeo y la Unidad motora*** (tabla 4.42).

**Tabla 4.42.** Evaluación Técnica de la **Bomba hidráulica** del banco de turbinas Pelton- Francis.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO</b>                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Sistema de simulación del recurso hidráulico en el Banco de Turbina Pelton- Francis</i> |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Máquina :</b> BOMBA CENTRIFUGA                                                          |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Marca:</b><br>BROOK MOTORS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Serial:</b><br>B284D                                                                    | <b>Datos técnicos:</b><br>Hn > 70 ft    Pot =15 hp    RPM=2900 |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>ESTADO TÉCNICO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        | Fecha: 30-06-2014                                                                   |
| <b>UNIDAD DE BOMBEO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Diagnostico</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                            |                                                                | <b>Imagen referente</b>                                                                                                                                                |                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Atascamiento del Eje</b> de la bomba, causado posiblemente por fallas en los rodamientos.</li><li>▪ La <b>Carcasa y el impulsor</b> se encuentran en buenas condiciones.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                            |                                                                |   |                                                                                     |
| <b>UNIDAD MOTORA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Diagnostico</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                            |                                                                | <b>Imagen referente</b>                                                                                                                                                |                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Atascamiento del Eje</b> de la bomba, causado posiblemente por fallas en los rodamientos.</li><li>▪ El <b>Aislamiento del cableado</b> interno hacia las bobinas esta tostado.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                            |                                                                |                                                                                    |                                                                                     |
| <b><u>Resultado del diagnóstico:</u></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Realizar mantenimiento general a la turbina,</li><li>▪ Sustitución de la empaquetadura del Vástago del inyector.</li><li>▪ La sustitución de los <b>rodamientos</b>.</li><li>▪ Realizar mantenimiento general.</li><li>▪ Eliminación de sulfatación en los conectores del motor.</li><li>▪ Realizar un mantenimiento eléctrico en el motor (rotor, estator, colectores, entre otros).</li><li>▪ Realizar las siguientes pruebas al motor:<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Medición de tensión y corriente de arranque,</li><li>✓ Medición de la Resistencia de Aislamiento,</li><li>✓ Medición de la Resistencia de Devanados,</li></ul></li><li>▪ Adquirir una <b>Moto-bomba</b> nueva con similares características a la que está en el banco. De esta manera se contará con otra bomba para sustituir la ya existente, de ser necesario.</li></ul> |                                                                                            |                                                                |                                                                                                                                                                        |                                                                                     |

### Estado actual de la Tubería y Accesorios.

En la tabla 4.43, se muestran los **resultados** obtenidos en la revisión de los componentes del sistema que conforman la red de tubería y sus accesorios. Las especificaciones e imágenes referentes a estos componentes se pueden ver en la caracterización de la tubería de agua y accesorios.

**Tabla 4.43.** Evaluación Técnica de la Tubería y Accesorios del banco de turbina Pelton– Francis.

|                                                                                   |                                                                                        |             |             |              |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO</b>                                                        |             |             |              |  |
|                                                                                   | <i>Sistema de Tubería para agua y Accesorios del banco de turbina Pelton– Francis.</i> |             |             |              |                                                                                     |
|                                                                                   | <b>Componentes: TUBERÍA Y ACCESORIOS.</b>                                              |             |             |              |                                                                                     |
| <b>ESTADO TÉCNICO</b>                                                             |                                                                                        |             |             |              | Fecha: 02-07-2.014                                                                  |
| <b>Nº</b>                                                                         | <b>COMPONENTE</b>                                                                      | <b>Malo</b> | <b>Reg.</b> | <b>Bueno</b> | <b>OBSERVACIONES</b>                                                                |
| 1                                                                                 | Tubo Ø 4”, PVC                                                                         |             |             | X            | Presenta buena apariencia superficial.                                              |
| 2                                                                                 | Empacadura de goma                                                                     |             | X           |              | Presentan endurecimiento y fisuras.                                                 |
| 3                                                                                 | Codos Ø 4”, 90°                                                                        |             |             | X            | Presenta buena apariencia superficial, no hay fisuras.                              |
| 4                                                                                 | Tés de Ø 4”                                                                            |             |             | X            | Presenta buena apariencia superficial, no hay fisuras.                              |
| 5                                                                                 | Reducción Ø 4 a 2 ”                                                                    |             |             | X            | Presenta buena apariencia superficial, no hay fisuras.                              |
| 6                                                                                 | Porta brida Ø 4”                                                                       |             |             | X            | Presenta buena apariencia superficial, no hay fisuras.                              |
| 7                                                                                 | Bridas                                                                                 |             | X           |              | Presenta corrosión en la superficie.                                                |
| 8                                                                                 | Colador de succión                                                                     |             | X           |              | Presenta corrosión en la superficie.                                                |
| 9                                                                                 | Válvula de suministro Ø 2”                                                             |             | X           |              | Presenta fuga leve y mal aspecto superficial.                                       |
| 10                                                                                | Válvulas desagüe                                                                       |             | X           |              | Presenta fuga leve y mal aspecto superficial.                                       |
| 11                                                                                | Válvula enfriamiento                                                                   |             | X           |              | Presenta fuga leve y mal aspecto superficial.                                       |
| 12                                                                                | Válvula principal Ø 4”                                                                 |             | X           |              | Presencia de sulfuro de hierro y picadura por corrosión en cuña y asiento.          |
| 13                                                                                | Tubería de llenado del Depósito Ø 2”                                                   |             | X           |              | Esta tubería proviene del tanque aéreo y parte de la misma esta desmantelado.       |

### Resultado del diagnóstico:

- Realizar pruebas de fuga hidráulicas en la tubería y Válvulas.
- Sustitución de empacaduras en todas las uniones de la tubería y accesorios.
- Mantenimiento general todas las válvulas del banco.

- Realizar una lapidación en la superficie en contacto entre la cuña y el asiento en las válvulas de compuerta de Ø 4”.
- Remover pintura vieja, preparar superficie y aplicar pintura en Válvulas y accesorios.
- Instalación de la tubería de suministro del agua al depósito desde el tanque aéreo del laboratorio.

#### 4.3.4.3. Diagnóstico del Sistema de Control e instrumentación del banco de Turbinas Pelton - Francis.

Las especificaciones e imágenes referentes a estos componentes se pueden ver en la **Caracterización del Sistema de control e instrumentación** (pág. 94). A continuación se presentan los resultados obtenidos en la revisión de cada instrumento que existen en el banco en estudio.

#### Estado actual de los diferentes dispositivos de control y medición del banco de turbina Pelton-Francis.

En la tabla 4.44, se muestran los **resultados** obtenidos en la revisión de los *Dispositivos de control y medición*.

**Tabla 4.44.** Evaluación Técnica de los Dispositivos de Control del banco de turbina Pelton– Francis.

| <div>  <div> <b>FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDICIÓN DEL BANCOS DE TURBINA PELTON- FRANCIS.</b> </div> </div> |                                              |                                                 |                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Nº                                                                                                                                                                                                                             | INSTRUMENTO                                  | DIAGNOSTICO                                     | RECOMENDACIÓN                                                         |
| 1                                                                                                                                                                                                                              | Manómetro de la entrada de la turbina Pelton | Presenta buen registro de la presión            | Mantenimiento general o sustitución por uno nuevo lleno de glicerina. |
| 2                                                                                                                                                                                                                              | Tacómetro de la Turbina Pelton               | Presenta buen registro de las rpm de la turbina | Mantenimiento general.                                                |
| 3                                                                                                                                                                                                                              | Tacómetro de la Turbina Francis              | Aparenta estar en buen estado                   | Requiere de mantenimiento general y posterior calibración.            |

**Tabla 4.44. Continuación.**

|   |                                          |                                                                                           |                                                                                    |
|---|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | <b>Piezómetro de Hg</b>                  | Válvulas dañadas, manqueras endurecidas y fisuradas, fugas en conexiones y des calibrada. | Sustitución de válvulas y mangueras, eliminación de fugas y mantenimiento general. |
| 5 | <b>Torsiómetro de la Turbina Francis</b> | Aparenta estar en buen estado                                                             | Requiere de mantenimiento general y posterior calibración.                         |
| 6 | <b>Dinamómetro o balanza de resorte</b>  | El banco no cuenta con un dinamómetro.                                                    | Se debe adquirir uno con la capacidad adecuada para su uso en el banco             |
| 7 | <b>Placa orificio del banco</b>          | Presenta formaciones solido adheridas a la superficie de la placa.                        | Remoción de solidificaciones y lijado de la superficie de la placa.                |

#### 4.3.4.4. Diagnóstico del Sistema de transformación de la energía mecánica en el banco de turbina Pelton- Francis.

El dispositivo que conforman este sistema es el *freno Prony*, al cual se les realizó una revisión técnica y **los resultados** se muestra en la tabla 4.45.

**Tabla 4.45.** Resultados del *Estado actual del freno Prony* del banco de turbina Pelton.

|                                                                                     |                                           |                                                                                                                     |             |              |                                                    |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                           | <b>FICHA DE ESTUDIO TÉCNICO</b>                                                                                     |             |              |                                                    |  |
|                                                                                     |                                           | <i>Sistema de transformación de la energía mecánica en energía calórico en el Banco de Turbinas Pelton- Francis</i> |             |              |                                                    |                                                                                       |
|                                                                                     |                                           | <b>Dispositivo : FRENO PRONY</b>                                                                                    |             |              |                                                    |                                                                                       |
| <b>ESTADO TÉCNICO</b>                                                               |                                           |                                                                                                                     |             |              |                                                    | Fecha: 04-07-2014                                                                     |
| <b>Nº</b>                                                                           | <b>COMPONENTE</b>                         | <b>Malo</b>                                                                                                         | <b>Reg.</b> | <b>Bueno</b> | <b>OBSERVACIONES</b>                               |                                                                                       |
| 1                                                                                   | <b>Cuña de sujeción del tambor al eje</b> |                                                                                                                     |             | X            | Presenta sucio y mugre.                            |                                                                                       |
| 2                                                                                   | <b>Tambor del Freno Prony</b>             |                                                                                                                     |             | X            | Presenta sucio y mugre.                            |                                                                                       |
| 3                                                                                   | <b>Zapatas</b>                            |                                                                                                                     |             | X            | Sin desgaste significativo y Presenta buen agarre. |                                                                                       |
| 4                                                                                   | <b>Banda del freno</b>                    |                                                                                                                     |             | X            | Presenta en buen estado mecánico.                  |                                                                                       |
| 5                                                                                   | <b>Actuador mecánico del freno Prony</b>  |                                                                                                                     |             | X            | Presenta en buen estado mecánico.                  |                                                                                       |
| 6                                                                                   | <b>Dispensador de aceite</b>              |                                                                                                                     |             | X            | Presenta en buen estado mecánico.                  |                                                                                       |
| 7                                                                                   | <b>Masas o pesos metálicos:</b>           |                                                                                                                     |             | X            | Presenta en buen estado mecánico.                  |                                                                                       |
| 8                                                                                   | <b>Tubería de refrigeración</b>           |                                                                                                                     |             | X            | Presenta en buen estado mecánico.                  |                                                                                       |

### **Resultado del diagnóstico:**

- Mantenimiento general,
- Pintado de la superficie interna y externa del tambor, banda, sostenedor del dinamómetro,
- Colocación de aceite en el dispensador de aceite,
- Realizar prueba de fuga en la válvula de enfriamiento,
- Pintar e identificar las diferentes masas del banco.

#### **4.3.5. Diagnóstico del Sistema de mando y control eléctrico del banco de turbina Pelton- Francis.**

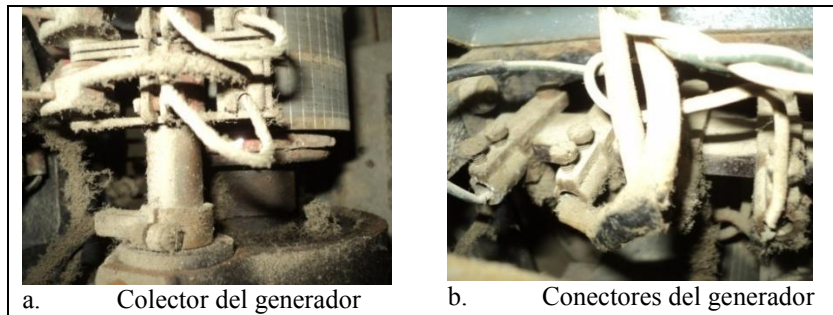
Los dispositivos que conforman este sistema son: *El Generador de la turbina Francis, El Panel de control y El Banco de resistencia.*

Los componentes anteriormente nombrado, se les realizó la revisión técnica y los **resultados** se muestra a continuación.

#### **Estado actual del Generador.**

En la revisión hecha en el Generador eléctrico del banco de turbina se pudo detectar las siguientes fallas:

- El eje del generador presentar *atascamiento*,
- Internamente el generador presenta sucio, polvo y mugre (estator, rotor, colector y partes mecánicas). Igualmente se puede ver sulfatados los conectores de los terminales al devanado del generador (ver figura 4.43.).



**Figura 4.43.** Inspección de los equipos eléctricos rotativos del banco de turbinas Pelton-Francis.

#### **Resultado del diagnóstico del generador:**

- Realizar un mantenimiento eléctrico interno al generador (rotor, estator, colectores, entre otros).
- Eliminación de sulfatación en los conectores del generador.
- Sustitución de los *rodamientos*,
- Realizar mantenimiento general y Pintar la superficie externa del generador.

También se recomienda el traslado del **generador** a una empresa eléctrica especializada para que se le realicen las siguientes pruebas:

- ✓ Medición de tensión y corriente de arranque,
- ✓ Medición de la Resistencia de Aislamiento,
- ✓ Medición de la Resistencia de Devanados,
- ✓ Medición del índice de polarización, entre otros que crea convenientes.
- Adquirir un **generador nuevo** con similares características al que está en el banco. De esta manera se contará con otro generador para su empleo en el banco Kaplan.

#### **Estado actual del Panel de control y Banco de resistencia.**

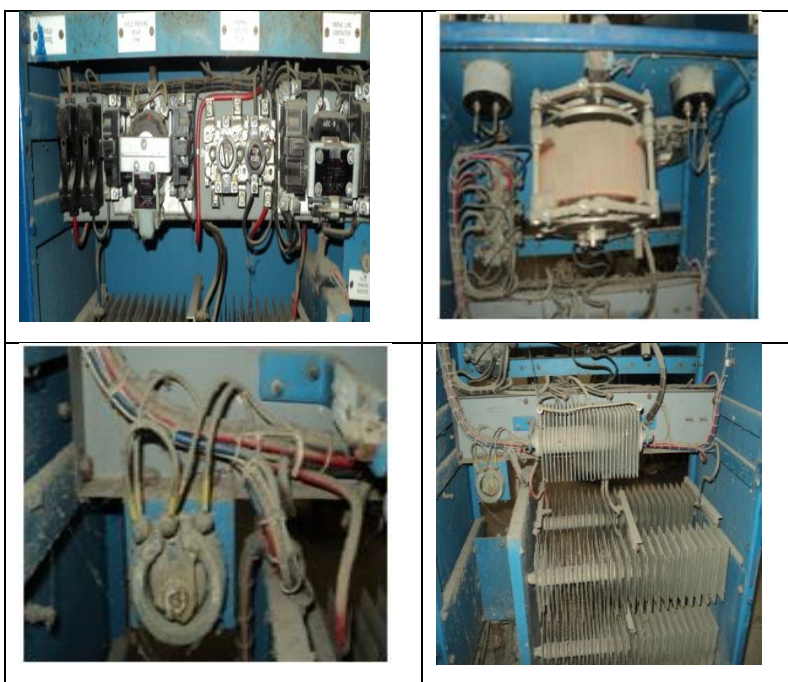
En la revisión hecha en el Generador eléctrico de banco de turbina se pudo detectar las siguientes fallas:

- Se encuentra estraviada la llave del selector de cambio del motor a generador, lo que impide la realización de pruebas eléctricas en el banco (ver figura 4.44.).



**Figura 4.44.** Selector del cambio del motor a generador.

- En la parte interna del Panel de control se pueden observar los **elementos de control y protecciones** aparentemente en buen estado aunque con abundante polvo (ver fig. 4.45.).



**Figura 4.45.** Elementos de control y prteccion del Panel de control del banco de turbinas Francis-Pelton.

- El Banco de resistencia se observa en buen estado, los interruptores trabajan bien, el material refractario esta compacto y las resistencias están enteras con buena continuidad eléctrica.

#### **Resultado del diagnóstico del Panel de control y el banco de resistencia:**

- Para la liberación del ***Selector de cambio del motor a generador***, se debe solicitar los servicios de un cerrajero o personal especializado en del ramo. Es recomendable que se elebore la llave o se sustituya la cerradura, ya que es muy importante mantener esta forma de proteccion en el panel de control, por que asi se evita la mala manipulación de los equipos por personas sin autorización.
- El Panel de control y el banco de resistencia, requieren de un mantenimiento eléctrico general (correctivo, predictivo y preventivo) y la posterior realización de pruebas eléctricas que se requieran.

#### **4.4. ELABORAR UNA PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS.**

Con la realización del diagnóstico de los bancos de turbina, se obtuvo suficiente información que permitirá programar acciones concretas orientadas a solucionar los problemas o fallas que existen en dicho banco.

**La Propuesta de reactivación** definirá el modelo de operación con que funcionarán los diferentes sistemas que conforman los bancos, los cuales pueden ser: *en forma manual, Semiautomática y automática*. La opción seleccionada fue la de **operatividad en forma manual**, por las siguientes consideraciones:

- **Costo:** debido a la hiperinflación que sufre el país en la actualidad, la evaluación económica que se realizó en el 2.013 y aprobada por el **Fonacit** en el 2.014 para la

ejecución de este proyecto, se ha hecho insuficiente, reduciéndose el poder adquisitivo de dichos recursos en un 45 % aproximadamente.

- **Tiempo:** factor que se desea en todo proyecto, el menos posible ya que incide en la factibilidad de la reactivación y en la implementación a futuro de tecnologías modernas (manómetros digitales, módulo de adquisición de datos, computador, entre otros). Otra razón importante, es la relación **hombre-tiempo** que deben ser el mínimo, porque el personal que realizará el trabajo son los Técnicos de **Corpoelec**, los cuales son trabajadores activos de la empresa y están limitados de tiempo.
- **Disponibilidad:** La escasez de equipos y materiales por la influencia de la adquisición de divisas por parte de las empresas en el área *hidromecánica e instrumental*, ha hecho que se *reparen* o se le hagan *adaptaciones a los dispositivos* existentes en el banco y plantear soluciones de acuerdo a lo que el proveedor ofrezca.
- **Tecnología:** La mayoría de los equipos y materiales usados para la implementación de sistemas semiautomáticos o automáticos son importados, lo que dificulta la adquisición de los mismos. Otro inconveniente es encontrar el personal calificado para la implementación de dicha sistemas.

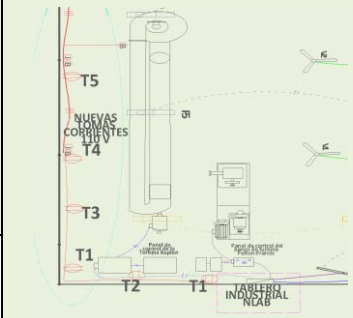
En definitiva la Propuesta a desarrollar es:

**Recuperación de la Operatividad manual de los sistemas que conforman los bancos de turbinas del laboratorio Elías Sánchez Días, a través de: reparaciones, sustituciones, incorporaciones y adaptaciones de equipos y dispositivos.**

#### 4.4.1. RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO DE LOS BANCOS DE TURBINAS.

En la tabla 4.46, se presentan las actividades a realizar para la ejecución de la propuesta en cuanto a las mejoras del sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbinas.

**Tabla 4.46.** Propuesta para el *Sistema de alimentación eléctrico* de los bancos de turbinas.

|  <div> <b>PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO DE LOS BANCOS DE TURBINAS.</b> </div>  |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tiempo estimado de realización: 2 semanas</b>                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Nº                                                                                                                                                                                                                                                                                   | COMPONENTE O EQUIPO                                              | ACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Circuito de tomas de 110 V en áreas de los bancos.</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fijar tubería de Ø 3 /4” de PVC y 10 cajetines de 2 X 4” en superficie de pared lateral en el área de los bancos de turbina.</li> <li>▪ Realizar acometida con cable Nº 12, alimentado desde tablero principal del laboratorio.</li> <li>▪ Colocación de breaker de 40 A en tablero principal para la protección de este circuito.</li> </ul>                          |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Instalación de tablero Industrial NAB 412 y breaker 100 A</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fijar tablero industrial en pared de fondo del área de los bancos de turbina (ver plano en fig. 4.39).</li> <li>▪ Colocar breaker de protección de 100 A y realizar la conexión de cables provenientes del laboratorio de computación a dicho tablero.</li> <li>▪ Reinstalar el cableado de los equipo de control eléctricos de los banco al nuevo tablero.</li> </ul> |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Sustitución de fluorescentes en áreas de los bancos.</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pintar los seis (6) plafones de las luminarias que están instaladas en el área de los bancos.</li> <li>▪ Colocar de doces (12) nuevos tubos fluorescentes T- 12 de 40 w.</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Eliminación de cajetín superficial en piso.</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cortar alimentación trifásica al cajetín.</li> <li>▪ Corte del tubo superficial de Ø 1 /2”.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**Materiales y equipos requeridos para la recuperación del Sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbinas.**

Para la ejecución de las actividades se requirió la adquisición de los siguientes **materiales y equipos** (tabla 4.47):

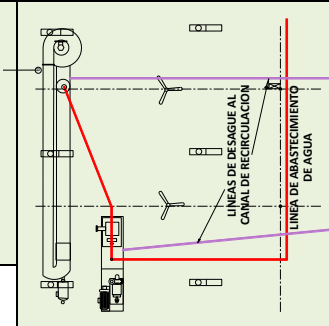
**Tabla 4.47.** Materiales, equipos e instrumentos usados en la reactivación de la turbina Kaplan.

| Nº | CANT. | DESCRIPCIÓN                            | USO                                                       |
|----|-------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | 1     | Tablero NAB 412 Emp                    | Instalación de tablero Industrial NAB 412 y breaker 100 A |
| 2  | 2     | Breaker 100 amp                        |                                                           |
| 3  | 2     | Ramplug Plástico Azul 5/16             |                                                           |
| 4  | 10    | Toma 2P                                | Circuito de tomas de 110 V en áreas de los bancos.        |
| 5  | 4     | Tubo PVC 1" x 3 metros                 |                                                           |
| 6  | 6     | Curva PVC Conduit 1" x 90              |                                                           |
| 7  | 300   | Cable THW 12                           |                                                           |
| 8  | 40    | Abrazadera 3/8" elec. Para pared       |                                                           |
| 9  | 8     | Teipe 3M scotch                        |                                                           |
| 10 | 2     | Broca 1/4 - 6.5                        |                                                           |
| 11 | 50    | Tornillo A/R 8 x 1                     |                                                           |
| 12 | 1     | Pinza amperimétrica 400 AC/600 VAC/ DC |                                                           |
| 13 | 4     | Cajetín Octogonal                      |                                                           |
| 14 | 5     | Breaker para emb. 1x20 A               |                                                           |
| 15 | 6     | Cajetín Metálico 2 x 4 x 3/4           |                                                           |
| 16 | 2     | Ramplug 1/4 Emp (100 pzas)             |                                                           |
| 17 | 15    | Tubo PVC 3/4" x 3 metros               | Sustitución de fluorescentes en áreas de los bancos.      |
| 18 | 10    | Balasto Eléc. 2 x 40 120 V             |                                                           |
| 19 | 10    | Interruptor doble BTICINO              |                                                           |
| 20 | 20    | Tubo Fluorescente T12 40W              |                                                           |
| 21 | 8     | Pintura colonial blanco                |                                                           |

#### 4.4.2. RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LOS BANCOS DE TURBINAS.

En la tabla 4.48, se presenta las actividades a realizar para la ejecución de la propuesta en cuanto a las mejoras del sistema de alimentación eléctrico de los bancos de turbinas.

**Tabla 4.48.** Propuesta para el *Sistema de abastecimiento de agua* de los bancos de turbinas.

|  |                                                                                    | <p><b>PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LOS BANCOS DE TURBINAS.</b></p>                                                                                                                                                                                                                               |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Tiempo estimado de realización: 1 semana</b></p>                            |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Nº                                                                                | COMPONENTE O EQUIPO                                                                | ACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |
| 1                                                                                 | Instalación de la tubería principal para el abastecimiento del agua en los bancos. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desmontaje de tubería vieja de Ø 2" de acero del banco de la turbina Pelton-Francis.</li> <li>Colocación de tubería de Ø 2" de PVC, desde la bomba que le suministra el agua al banco de <i>Perdida de presión en válvula</i>.</li> </ul>                                                       |                                                                                     |
| 2                                                                                 | Instalación de línea de agua al banco de la turbina Kaplan.                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar tubería de PVC de Ø 3/4" a la <b>Torre de estabilización</b>. La conexión se puede realizar desde: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Derivación de Ø 2" del banco de turbina Pelton-Francis.</li> <li>✓ Toma de agua procedencia externa al laboratorio.</li> </ul> </li> </ul> |                                                                                     |

#### **Materiales y equipos requeridos para la recuperación del Sistema de abastecimiento de agua de los bancos de turbinas.**

Para la ejecución de las actividades se requirió la adquisición de los siguientes **materiales y equipos** (tabla 4.49):

**Tabla 4.49.** Materiale y equipos requeridos para la recuperación del *Sistema de abastecimiento de agua* de los bancos de turbinas.

| Nº | CANT. | DESCRIPCIÓN                             | USO                                                                       |
|----|-------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 4     | Adaptador Macho 2"                      | Para sustitución del motor del banco de turbina                           |
| 2  | 3     | Unión Universal 2" A/F                  | Para instalar abastecimiento de agua al banco de turbina Pelton- Francis. |
| 3  | 15    | Tubo PVC 3/4" x 3 metros                |                                                                           |
| 4  | 11    | Tubo Agua Fría Pavco 2"                 |                                                                           |
| 5  | 8     | Codo 2" x 90 Agua Fría                  |                                                                           |
| 6  | 8     | Anillo 2" Agua Fría                     |                                                                           |
| 7  | 4     | Adaptador Macho 2"                      |                                                                           |
| 8  | 8     | Codo 2" x 90 Agua Fría                  |                                                                           |
| 9  | 8     | Anillo 2" Agua Fría                     |                                                                           |
| 10 | 2     | Soldadura Uniteca Alta Presión ¼ galón  |                                                                           |
| 11 | 2     | Tubo agua fría 3/4" x 6 m               | Para instalar abastecimiento de agua al banco de turbina Kaplan.          |
| 12 | 5     | Tee agua fría 3/4"                      |                                                                           |
| 13 | 5     | Codo Agua fría 3/4"                     |                                                                           |
| 14 | 6     | Válvula de Bola Compacta Agua Fría 3/4" |                                                                           |
| 15 | 10    | Unión Agua Fría 3/4 "                   |                                                                           |
| 16 | 6     | Unión Universal Agua Fría 3/4"          |                                                                           |
| 17 | 6     | Adaptador hembra Agua Fría 3/4"         |                                                                           |
| 18 | 1     | Brocha 1/2"                             |                                                                           |

#### 4.4.3. RECUPERACIÓN DE LA OPERATIVIDAD MANUAL DE LOS SISTEMAS QUE CONFORMAN EL BANCO DE TURBINA KAPLAN.

La propuesta que se presentó antes la iniciación de la reactivación de la turbina Kaplan y que se uso de referencia en la realización de las actividades, se puede observar en la tabla 4.50.

**Tabla 4.50.** Propuesta para la *Operatividad manual* de los sistemas del banco de turbina Kaplan.

|                                                                                                          |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                           | <b>PROPUESTA PARA LA REACTIVACIÓN DEL BANCO DE TURBINA KAPLAN.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |
| <b>Tiempo estimado de realización: 1.5 años</b>                                                          |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| Nº                                                                                                       | COMPONENTE O EQUIPO       | ACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |                                                                                     |
| <b><i>Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica</i></b>                                 |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| 1                                                                                                        | Turbina Kaplan            | Mantenimiento mecánico general de la turbina Kaplan que incluya: eje de turbina, rodamientos, sello mecánico, distribuidor y manivela.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                     |
| <b><i>Sistema generador de recirculación hidráulico en el banco de turbina</i></b>                       |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| 2                                                                                                        | Bomba Axial               | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mantenimiento y realización de Pruebas eléctricas en los Unidad motora de la bomba del banco de turbinas Kaplan.</li><li>▪ Realizar mantenimiento general y pintado de la superficie externa de la unidad de bombeo.</li><li>▪ Eliminación de sulfatación en los conectores del motor.</li><li>▪ Adquirir un motor nuevo con similares características a la que está en el banco. De esta manera se contara con otra bomba para sustituir la ya existente, si fuera necesario.</li></ul> |  |                                                                                     |
| 3                                                                                                        | Ducteria y accesorios     | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mantenimiento general de la ducteria y accesorio del banco.</li><li>▪ Realizar pruebas de fuga hidráulicas en la tubería y Válvulas.</li><li>▪ Sustitución de empacaduras en las uniones de la tubería y accesorios.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                     |
| <b><i>Sistema de Control e instrumentación en el banco de turbina</i></b>                                |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| 4                                                                                                        | Tacometro                 | Instalación de un tacómetro en la turbina, ya sea analógico o digital.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                     |
| 5                                                                                                        | Piezómetro de Hg          | Instalación de un banco Piezométrico en la placa orificio del banco.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                     |
| 6                                                                                                        | Manómetros y vacuómetros. | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Colocación en la entrada de la turbina un manómetros con glicerina y rango de 0 a 5 psi</li><li>▪ Colocación en la salida de la turbina un vacuometro con glicerina y rango de -5 a 5 psi</li><li>▪ Colocación en la salida de la bomba axial un manómetro con glicerina y rango de 0 a 15 psi</li></ul>                                                                                                                                                                                 |  |                                                                                     |
| 7                                                                                                        | Dinamómetro               | Adquirir un dinamómetro de 200 kg, y apreciación de 1 kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |                                                                                     |
| 8                                                                                                        | Placa orificio del banco  | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Remoción de solidificaciones y pulido de la placa.</li><li>▪ Sustitución de válvulas de pulga y mangueras.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                                                                                     |
| <b><i>Sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica y calórica del banco de turbinas</i></b> |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| 9                                                                                                        | Freno Prony               | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mantenimiento general,</li><li>▪ Habilitar el mecanismo para usar el dinamómetro (gancho sostenedor, guaya y perros)</li><li>▪ Colocación de aceite en el dispensador de aceite,</li><li>▪ Pintar e identificar las diferentes masas del banco.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                |  |                                                                                     |
| <b><i>Sistema de mando y control eléctrico en el bancos de turbinas</i></b>                              |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                                     |
| 10                                                                                                       | Panel de control          | Mantenimiento del Panel de control de la Turbina Kaplan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                                                                                     |
| 11                                                                                                       | Banco de resistencia      | Mantenimiento eléctrico general (correctivo, predictivo y preventivo)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                                                                                     |

Como anteriormente se comentó, en este banco ya se han realizado un conjunto de trabajos que incluyen: Mantenimiento de equipos rotativos y controles, reparación o sustitución de empaaduras en la ducteria del banco, colocación de tuberías y accesorios para el suministro de agua al banco, reparación o sustitución de instrumentos de medición, diseño y montaje de dispositivo para captación de datos, entre otros.

La reactivación del banco se ejecución por **Etapas** y se realizó de la siguiente en la tabla 4.51.

**Tabla 4.51.** Etapas de reactivación del banco turbina Kaplan.

| Etapas de reactivación                                                                                                                             | Actividades                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PRIMERA ETAPA:</b> Mantenimiento y realización de Pruebas eléctricas en los Controles y Unidad motora de la bomba del banco de turbinas Kaplan, | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantenimiento del Panel de control de la Turbina Kaplan,</li> <li>▪ Evaluacion del estado de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan,</li> <li>▪ Arranque al vacio de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan y verificacion de valores de funcionamiento.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>SEGUNDA ETAPA:</b> Reparaciones mecánicas del banco de turbina Kaplan.                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantenimiento de la <b>turbina Kaplan</b>,</li> <li>▪ Mantenimiento de la <b>Ducteria y bomba axial</b>,</li> <li>▪ Montaje, alineación y ajuste de la <b>Bomba Axial y la turbina Kaplan</b>,</li> <li>▪ Mantenimiento de la <b>Placa orificio</b> y las <b>Tomas de la placa orificio</b>,</li> <li>▪ Armado, remplazo de las empaaduras y <b>Primera prueba</b> de fuga de la ducteria, (sin arranque de la bomba axial),</li> <li>▪ Realización de la <b>Segunda prueba</b> de fuga del banco de turbina Kaplan que incluye arranque de la bomba axial y el cambio de velocidad desde el Panel de control.</li> </ul> |
| <b>TERCERA ETAPA</b>                                                                                                                               | Mejoras de apariencia y correcciones de funcionamiento de la turbina Kaplan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

A continuación se mostrara *cronológicamente* y por *etapas*, como se ejecutó la reactivación del banco de turbina Kaplan:

### ■ PRIMERA ETAPA:

#### Mantenimiento y realización de Pruebas eléctricas en los Controles y Unidad motora de la bomba del banco de turbinas Kaplan:

Esta etapa comenzó en **Septiembre** y culmino en **Noviembre** del 2013 (un mes) , y conto con el trabajo del siguiente personal: *Técnicos electricistas de corpoelec, Tecnicos electricistas de la UC, Docentes y Técnico del laboratorio de hidraulica de Ing. Civil y Tesistas de Ing. Mecánica*. A continuación se describiran con mas detalle las actividades que se realizaron en el laboratorio (fig. 4.46) :

##### **1. Mantenimiento del Panel de control de la Turbina Kaplan, que incluye:**

- Eliminación del polvo en la superficie externa y de componentes electrico internos,
- Limpieza de contactos y ajustes de tornilleria,
- Revisión de componentes eléctricos: **fusibles, contactores, reles, conductores**, entre otros.
- Mantenimiento general del **banco de resistencia** del banco de turbina Kaplan.



**Figura 4.46.** Mantenimiento del Panel de control del Banco de Turbina kaplan.

**2. Evaluación del estado de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan, que incluye:**

- Desacople de la Unidad motora de la bomba axial del banco de turbinas,
- Megado de la Unidad motora,
- Realización de pruebas de aislamiento eléctricas,
- Limpieza de conectores y terminales del motor.



**Figura 4.47.** Evaluacion del estado de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan.

**3. Arranque al vacio de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan y verificacion de valores de funcionamiento, que incluye:**

- Arranque de la unidad motora al vacio y variación de las velocidades desde el **Panel de control**.
- Realización de pruebas eléctricas en sitio de tensión, corriente, potencia, así como tambien en el rotor ,estator, escobillas, colector, entre otros.



**Figura 4.48.** Arranque al vacío de la Unidad motora del banco de Turbina Kaplan.

## ■ SEGUNDA ETAPA:

### Reparaciones mecánicas del banco de turbina Kaplan:

Esta etapa se desarrollo desde **Noviembre del 2.013** hasta **Diciembre del 2.014** (un mes) y contó con el trabajo del siguiente personal: Técnicos electricistas de corpoelec y de la UC, Docentes y Técnico del laboratorio de hidraulica de Ingeniería Civil y Tesistas de Ing. Mecánica.

Los trabajos que se realizaron fueron los siguientes:

#### ■ **Mantenimiento de la turbina Kaplan**

El trabajo fue arduo ya que la turbina Kaplan es una **Turbomáquina** conformada por varios sistemas mecánicos giratorios que interactúan entre sí, como lo son: el Distribuidor, el Eje de la turbina y el freno Prony.

En la figura 4.49., se puede observar las actividades de las cuales hacemos referencia. Se utilizó **solvente desoxidante, cepillo de celdas metálicas, lija N° 180** y un **protector anti-corrosivo (NOVEROC)**.



**Figura 4.49.** Mantenimiento mecánico de la turbina Kaplan.

#### ■ **Mantenimiento de la Ducteria y bomba axial.**

En esta actividad se desmontaron los ductos y se procedió a lavarlos internamente, eliminando así la mugre y otros sólidos. Posteriormente, se desarmó la bomba axial y se

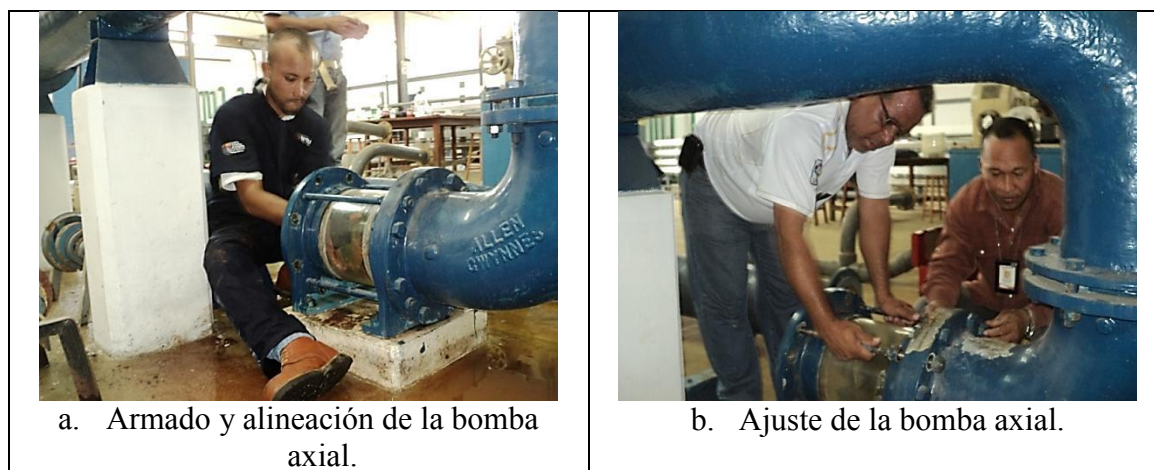
procedió a destrabar el eje y mecanismo de giro de la hélice, eliminación de sulfuro de hierro dentro del cubo del rodete. Finalmente, se armó nuevamente y se verificó si giraba (fig. 4.50.).



**Figura 4.50.** Mantenimiento de la ducteria y bomba axial.

- **Montaje, alineación y ajuste de la Bomba Axial y la turbina Kaplan.**

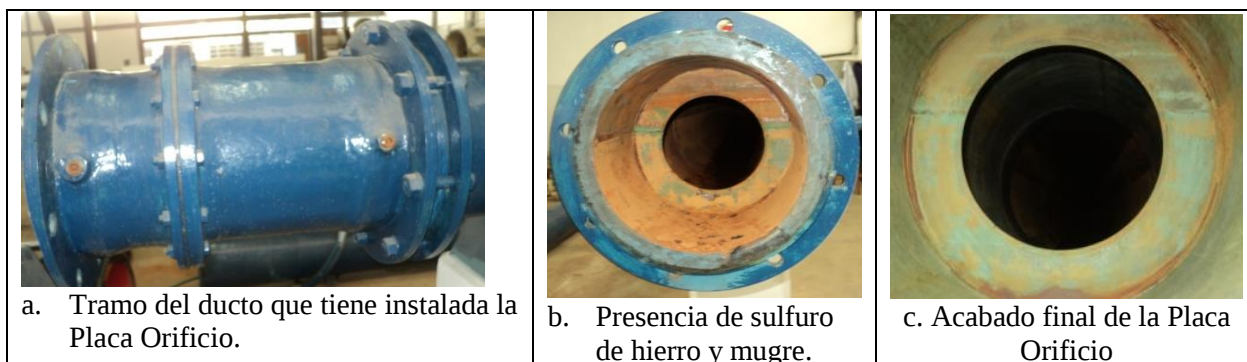
Fue realizado por personal de **Corpoelec**, que incluyeron mecánicos e ingenieros. En la colocación del **Visor de vinil**, se detectó que la hélice del rodete de la bomba rozaba el visor al girarlo y se tuvo que nivelar la bomba ya que estaba desbalanceada (fig. 4.51).



**Figura 4.51.** Montaje, alineación y ajuste de la Bomba Axial.

- **Mantenimiento de la PLACA ORIFICIO y las Tomas de la placa orificio.**

Este trabajo fue realizado **en sitio** y se usó agua, cepillo con celdas de alambre y lija N° 180 y 240.



**Figura 4.52.** Mantenimiento de **Placa orificio** y Tomas de la placa orificio.

- **Armado, remplazo de las empacaduras y Primera prueba de fuga de la ductería, (sin arranque de la bomba axial).**

Durante el ensamblaje de la ducteria, se fueron sustituyendo las **empacaduras** de la misma ya que muchas de ellas estaban vencidas. Esto se realizó por recomendaciones del personal de Corpoelec, que proporcionaron las empacaduras que se requerían y fueron de los siguientes materiales: *Goma de 3 mm de espesor, goma con fibra de 1 mm de espesor y de asbesto de 1 mm de espesor.*

La **Primera prueba de fuga**, consistió en llenar por completo de agua la ductería (incluyendo la turbina y el estabilizador de flujo) y observar donde se producían fugas y analizar cuáles eran las posibles causas de dichas fugas y como corregirlas (fig. 4.53-b).



**Figura 4.53..** Trabajos sin arranque en la ducteria, de la bomba axial.

- **Realización de la Segunda prueba de fuga del banco de turbina Kaplan que incluye arranque de la bomba axial y el cambio de velocidad desde el Panel de control.**

Para la realización de esta prueba se debió acoplar la **bomba axial** al **motor**, pero previo a esto, se tuvo que elaborar los cuatro (4) **tornillos con tuerca de acero de Ø 5/ 8"** que aseguran el acople ya que dichos tornillos se partieron durante el desacople. Estos tornillos fueron proporcionados por **Corpoelec**.

Con dicha prueba se pudo observar:

- ✓ Las fugas que se presentaron fueron **leves**, generalmente en las uniones de la ducteria. Estas fugas se solventaron apretando los tornillos de las bridas y otras se corrijeron automáticamente.
- ✓ La bomba axial trabajo correctamente a diferentes velocidades y el **motor** de dicha bomba, arrojó valores de tensión y corriente correctos.
- ✓ La turbina Kaplan giro correctamente y vario su velocidad proporcionalmente a la apertura del distribuidor.
- ✓ Los manómetros colocados en la salida de la bomba y entrada de la turbina no sensoron ninguna presión ya que su rango de operación era muy alto ( 0 a 40 bar)

### ■ **TERCERA ETAPA:**

#### **Mejoras de apariencia y correcciones en el funcionamiento de la turbina Kaplan:**

Esta etapa se ha ido desarrollando en este año **(2015)**, la cual incluye las siguientes actividades (ver tabla 4.52):

**Tabla 4.52.** Actividades de *Mejoramiento de apariencia e instalación de instrumentos de registro de datos en el banco de turbinas Kaplan.*

| Nº | TRABAJO REALIZADO                                                                                                                                            | IMAGEN DE REFERENCIA                                                                  |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Instalación de tubería de acero y otros accesorios para el suministro de agua al banco de turbina Kaplan (Suministro de agua proveniente de fuente externa). |    |
| 2  | Colocación de un Dinamómetro de resorte con capacidad de 200 kg en el freno Prony.                                                                           |    |
| 3  | Sustitución de dos (2) manómetros seco por dos (2) mojados o llenos de glicerina, de rango de 0 a 15 psi.                                                    |    |
| 4  | Colocación de dos (2) Vacuómetros mojados o llenos de glicerina, de rango de -30 a 30 psi.                                                                   |    |
| 5  | Colocación de <b>Guaya</b> de acero Ø 1/ 16" y cuatro perros de apriete para guaya.                                                                          |   |
| 6  | Sustitución del banco Piezométrico aire-agua por otro Piezómetro de Hg para usarlos en la Placa orificio de la turbina Kaplan.                               |  |
| 7  | Reemplazo de las <b>Estopera</b> de la bamba axial.                                                                                                          |  |
| 8  | Diseño de un adaptador para el montaje de un <b>Tacómetro Analógico</b> en el eje de la turbina Kaplan.                                                      |  |
| 9  | Elaboración, programación y montaje de un <b>Tacómetro Digital</b> para medir las rpm de la turbina Kaplan.                                                  |  |

**Tabla 4.52.** Continuación.

|    |                                                                                                                                                                             |                                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | Se pintaron las <b>masas</b> usadas en el dinamómetro para las pruebas de consumo potencia en el eje de la turbina.                                                         |    |
| 11 | Colocación de Conexión de bronce tipo espiga- macho de Ø 3/8" y manguera para el drenaje del Prensa estopa de bomba axial.                                                  |    |
| 12 | Colocación de dos Válvulas de apertura rápida de bronce de Ø 1/8" y cuatro (4) metros de manguera de Ø 1/8, para el enfriamiento al freno Prony y puga de la turbina Kaplan |    |
| 13 | Instalación un <b>Visor</b> para observar la altura en el que se encuentre el nivel del agua en el estabilizador de flujo durante las pruebas en el banco.                  |    |
| 14 | *Sustitución de Bomba del banco de turbina Pelton-Francis de 15 hp, marca <i>GILKES PUMPS</i> , por una <i>Malmedi</i> de 15 hp y similares características.                |   |
| 15 | *Sustitución del motor del banco de turbina Kaplan de 30 hp, marca <i>SCOTT AXIAL</i> por uno <i>NIDEC MOTOR CORPORATION</i> de similares características.                  |  |

**\*Nota:** dicha sustitucion esta en ETAPA INICIAL.

**Materiales e instrumentos requeridos para la implementación de la operatividad manual del banco de turbina Kaplan.**

Para la ejecución de las actividades se requirio la adquisición de los siguientes **materiales e instrumentos** (tabla 4.53):

**Tabla 4.53.** Materiales, equipos e instrumentos usados en la reactivación de la turbina Kaplan.

| Nº | CANT. | DESCRIPCIÓN                                           | USO                                                                                                                                                                                         |
|----|-------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2     | Galón de Pintura en esmalte de color azul             | Para pintar banco de la turbina Kaplan, incluyendo el Panel de control.                                                                                                                     |
| 2  | 1/4   | Galón de Pint. en esmalte de color azul               | Para pintar las masas usadas en el dinamómetro                                                                                                                                              |
| 3  | 1     | Dinamómetro de 200 kg de capacidad                    | Habilitar el freno Prony de la turbina Kaplan                                                                                                                                               |
| 4  | 1 m   | Guaya de acero Ø 1/ 16"                               |                                                                                                                                                                                             |
| 5  | 4     | Perros de apriete de guayas                           |                                                                                                                                                                                             |
| 6  | 4     | Manómetros sglicerina de 15 psi, rosca NPT de Ø 1/8", | Instalarse en la entrada y salida de la turbina bomba axial                                                                                                                                 |
| 7  | 3     | Manovacuometro -30 a +30 PSI con glicerina            |                                                                                                                                                                                             |
| 8  | 1     | Conexión de bronce espiga- macho de Ø 1/4"            | Desagüe en Prensa estopa de la bomba axial, enfriamiento de zapatas de freno Prony.                                                                                                         |
| 9  | 10 m  | Manguera crista de Ø 1/4"                             |                                                                                                                                                                                             |
| 10 | 4     | Reducción de bronce hembra-macho de Ø 1/ 4" a 1/ 8".  | Conexiones de manómetros                                                                                                                                                                    |
| 11 | 30    | Abrazadera 3/4"                                       | Para las mangueras plásticas de nivel                                                                                                                                                       |
| 12 | 1     | Tubo Visor                                            | Para instalarlo en torre estabilizadora                                                                                                                                                     |
| 13 | 1     | Tubo de acero galvanizado 1/ 2"                       | Colocación de la línea llenado del banco de prueba                                                                                                                                          |
| 14 | 4     | Codos 90° de Ø 1/ 2"                                  |                                                                                                                                                                                             |
| 15 | 2     | T de Ø 1/ 2"                                          |                                                                                                                                                                                             |
| 16 | 2     | Válvulas apertura rápida de Ø 1/ 2"                   |                                                                                                                                                                                             |
| 17 | 8     | Válvulas de apertura rápida de bronce de Ø 1/8"       | Enfriamiento de zapata del freno Prony, fuga de la turbina piezómetro de Hg                                                                                                                 |
| 18 | 1     | Medidor de nivel o visor de 1,2 m                     | Registro del nivel de Estabilizador de flujo                                                                                                                                                |
| 19 | 1 m   | Empaquetadura cuadrada de 1/ 2" de teflón- grafito.   | Sustitución de empaquetadura de la Prensa estopa de la bomba del banco.                                                                                                                     |
| 20 | 2     | Brocha 3"                                             | Uso general                                                                                                                                                                                 |
| 21 | 1     | Tubo agua fría 3/4" x 6 metros                        | Para instalar abastecimiento de agua al banco.                                                                                                                                              |
| 22 | 1     | Motor de marca NIDEC MOTOR de 30 hp.                  | Sustitución del motor del banco de turbina Kaplan de 30 hp, marca SCOTT AXIAL                                                                                                               |
| 23 | 5     | Codo Agua fría 3/4"                                   | Para instalar abastecimiento de agua al banco.                                                                                                                                              |
| 24 | 6     | Válvula de Bola Agua Fría 3/4"                        |                                                                                                                                                                                             |
| 25 | 10    | Unión Agua Fría 3/4 "                                 |                                                                                                                                                                                             |
| 26 | 6     | Unión Universal Agua Fría 3/4"                        |                                                                                                                                                                                             |
| 27 | 6     | Adaptador hembra Agua Fría 3/4"                       |                                                                                                                                                                                             |
| 28 | 10    | Galón Pint. Esmalte Azul oscuro                       |                                                                                                                                                                                             |
| 29 | 6     | Adaptador Macho Agua Fría 3/4"                        |                                                                                                                                                                                             |
| 30 | 1     | Tablero NAB 412 Emp                                   | Para realizar un gabinete de controles que incluirá: tacómetro digital, lectores de presión y caudal. Amperímetro, voltímetro y vatímetro digital, interruptores, luces piloto entre otros. |
| 31 | 4     | Rueda Nylon 2"                                        |                                                                                                                                                                                             |

#### **4.4.4. Recuperación de la Operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de turbinas Pelton y Francis.**

Como ya se ha expuesto anteriormente, el banco de turbina Pelton-Francis, se han separado en cinco (5) sistemas y estos sistemas están conformados a su vez, por una serie de componentes y equipos que al interactuar entre ellas se desarrollan una serie de fenómenos hidráulicos, mecánicos y eléctricos, que son estudiados.

El banco en estudio se encuentra actualmente desarmado y se comenzaran los trabajos en dicho banco, al culminar totalmente la reactivación del banco de turbina Kaplan.

#### **Materiales e instrumentos requeridos para la implementación de la operatividad manual del banco de turbina Pelton-Francis.**

Para la ejecución de las actividades se requirió la adquisición de los siguientes materiales e instrumentos (tabla 4.54):

**Tabla 4.54.** Materiales, equipos e instrumentos requeridos para la reactivación de la **turbina Pelton-Francis.**

| Nº | CANT. | DESCRIPCIÓN                      | USO                                                                   |
|----|-------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1  | 1     | Bomba Motor 15 Hp 220/440 V.     | Para sustitución del motor del banco de turbina                       |
| 2  | 2     | Kg electrodo 6013 1/8"           | Para reparaciones y adaptaciones en tanque y otros requerimientos.    |
| 3  | 2     | Cepillo de Alambre               |                                                                       |
| 4  | 3     | Disco de esmeril 4"              |                                                                       |
| 5  | 50    | Mascarilla Anti polvo Desechable |                                                                       |
| 6  | 2     | Copas de alambres 4"             |                                                                       |
| 8  | 4     | Spray Limpia Contacto            | Para el mantenimiento del panel de control y el banco de resistencia. |
| 9  | 1     | Apertura de cilindro y original  |                                                                       |

#### **Actividades de recuperación de operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de turbina Pelton- Francis.**

En la tabla 4.55, se muestra las actividades que deben ejecutarse para la recuperación de cada sistema:

**Tabla 4.55.** Actividades de recuperación de operatividad manual de los sistemas que conforman el banco de **turbina Pelton- Francis**.

|                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|                                                                            |                                   | <b>PROPUESTA PARA LA REACTIVACIÓN DEL BANCO DE TURBINA PELTON-FRANCIS.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |
| Tiempo estimado de realización: 1 año                                      |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
| Nº                                                                         | COMPONENTE O EQUIPO               | ACTIVIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
| <i>Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica</i>          |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
| 1                                                                          | Turbina Pelton                    | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mantenimiento mecánico, cambio de Empacadura en el vástago y pintado externa e interna de la turbina.</li><li>▪ Sustitución del manómetro existente por otro con glicerina.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |
| 2                                                                          | Turbina Francis                   | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mantenimiento general a la turbina y gobernador.</li><li>▪ Revisión de sello mecánico de la turbina.</li><li>▪ Colocación en la entrada de la turbina un manómetros con glicerina y rango de 0 a 160 psi</li><li>▪ Colocación en la salida de la turbina (Tubo de aspiración) un mano-vacuometro con glicerina y rango de -15 a 15 psi.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
| <i>Sistema de simulación del recurso hidráulico en el banco de turbina</i> |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
| 3                                                                          | Bomba hidráulica                  | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ La sustitución de los <b>rodamientos</b>.</li><li>▪ Realizar mantenimiento general de la unidad de bombeo.</li><li>▪ Realizar un mantenimiento eléctrico en el motor (rotor, estator, colectores, entre otros).</li><li>▪ Eliminación de sulfatación en los conectores del motor.</li><li>▪ Realizar las siguientes pruebas:<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Medición de tensión y corriente de arranque,</li><li>✓ Medición de la Resistencia de Aislamiento,</li><li>✓ Medición de la Resistencia de Devanados,</li></ul></li><li>▪ Adquirir una <b>moto- bomba</b> nueva con similares características a la que está en el banco. De esta manera se contara con otra bomba para sustituir la ya existente, si fuera necesario.</li></ul> |  |  |
| 4                                                                          | El Depósito, tubería y accesorios | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Realizar pruebas de fuga hidráulicas en la tubería y Válvulas.</li><li>▪ Sustitución de empacaduras en todas las uniones de la tubería y accesorios.</li><li>▪ Mantenimiento genera en todas las válvulas del banco.</li><li>▪ Remover pintura vieja, preparar superficie y aplicar pintura en Válvulas y accesorios.</li><li>▪ Instalación de la tubería de suministro del agua al depósito desde el tanque aéreo del laboratorio.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |

**Tabla 4.54.** Continuación.

| <i>Sistema de Control e instrumentación en el banco de turbina</i>                                |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5                                                                                                 | Tacometros                        | Mantenimiento general o compra de un tacómetro digital.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 6                                                                                                 | Piezómetro de Hg                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sustitución de válvulas y mangueras.</li> <li>▪ Eliminación de fuga de mercurio en la cámara.</li> <li>▪ Mantenimiento general y posterior calibración.</li> <li>▪ Eliminación de anclajes que lo fijan al piso y hacerlo móvil colocándoles ruedas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 7                                                                                                 | Torsiómetro de la Turbina Francis | Mantenimiento y pruebas de medición de torque de motor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 8                                                                                                 | Dinamómetro o balanza de resorte  | Se debe adquirir uno con capacidad de 200 kg y apreciación de 1 kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 9                                                                                                 | Placa orificio del banco          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remoción de solidificaciones y lijado de la superficie de la placa.</li> <li>▪ Sustitución de válvulas de pulga y mangueras.</li> <li>▪ Mantenimiento general y posterior calibración.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>Sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica y calórica del banco de turbinas</i> |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 10                                                                                                | Freno Prony                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantenimiento general,</li> <li>▪ Pintado de la superficie interna y externa del tambor, banda, sostenedor del dinamómetro,</li> <li>▪ Colocación de aceite en el dispensador de aceite,</li> <li>▪ Realizar prueba de fuga en la válvula de enfriamiento,</li> <li>▪ Pintar e identificar las diferentes masas del banco.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 11                                                                                                | Generador                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar un mantenimiento eléctrico en el Generador (rotor, estator, colectores, entre otros).</li> <li>▪ Eliminación de sulfatación en los conectores del generador.</li> <li>▪ Sustitución de los rodamientos,</li> <li>▪ Realizar mantenimiento general y pintar la superficie externa del generador.</li> <li>▪ Realizar las siguientes pruebas: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medición de tensión y corriente de arranque,</li> <li>✓ Medición de la Resistencia de Aislamiento,</li> <li>✓ Medición de la Resistencia de Devanados,</li> <li>✓ Medición del índice de polarización, entre otros que crea convenientes.</li> </ul> </li> <li>▪ Adquirir un <b>Generador nuevo</b> con similares características al que está en el banco. De esta manera se contara con otro generador para sustituir el ya existente, si fuera necesario.</li> </ul> |
| <i>Sistema de mando y control eléctrico en el bancos de turbinas</i>                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 12                                                                                                | Panel de control y                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realización de la llave del Selector de cambio del motor a generador.</li> <li>▪ Mantenimiento eléctrico general (correctivo, predictivo y preventivo) y la posterior realización de pruebas eléctricas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 13                                                                                                | Banco de resistencia              | Mantenimiento eléctrico general (correctivo, predictivo y preventivo)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

#### 4.5. EVALUAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LOS BANCOS DE TURBINAS.

##### INTRODUCCIÓN:

Al principio de la investigación, las condiciones en que se encontraban los bancos de turbina, hacían dudar de la *factibilidad en la reactivación* de las mismas, pero al lograr los Técnicos de **Corpoelec**, arrancar el motor de 30 hp que esta acoplado a la bomba axial del banco de turbina Kaplan en un *tiempo relativamente corto* y a un *costo de inversión en mano de obra y materiales* razonable bajo, generaron optimismo entre los participantes de este proyecto.

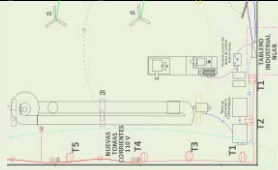
##### 4.5.1. COSTO DE LA PROPUESTA PARA LA REACTIVACIÓN DE FORMA MANUAL DE LOS BANCO.

Inicialmente los **Costos** por concepto de personal Técnico y materiales para la reactivación de las turbinas, fueron aportados por **Corpoelec**. La Universidad de Carabobo se comprometió en proporcionar la *logística* para el personal que trabajaría en dicha reactivación (año 2.013). Posteriormente, **Fonacit** entrego los recursos a la UC para la ejecución del **Proyecto de reactivación de los bancos de turbina** y se compraron todo los materiales, equipos e instrumentos que se requerían.

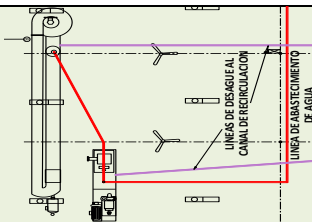
A continuación se mostrara el **costo** de las inversiones hechas por los diferentes entes involucrados:

- **Fonacit:** Para la compra de los materiales, equipos e instrumentos requeridos para la reactivación de las turbinas, los Docentes responsable del proyecto, tuvieron que realizar estimaciones de precios ofrecidos por los proveedores y trámites administrativos internos de la universidad, en donde se consideró que la inversión más convenientes para la adquisición de los materiales, eran los siguientes:

**Tabla 4.56.** Inversiones por concepto de recuperación del *Sistema de alimentación eléctrico* de los bancos de turbinas. (Precios 2.015).

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>HOJA DE COSTOS DE LA DE RECUPERACIÓN<br/>DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO<br/>DE LOS BANCOS DE TURBINAS.</b> </div>  </div> |                                           |                  |                  |          |                   |                 |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Cant                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Descripción                               | Precio Unit (Bs) | Precio Neto (Bs) | IVA (BS) | Costo (Bs)        | Factura         | Proveedor                           |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Tablero NAB 412 Emp                       | 28.941,6         | 28.941,65        | 3.473    | 32.414,65         | 52240           | Redema C.A.                         |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Breaker 100 amp                           | 21.200           | 42.400           | 5.088    | 47.488            | 272680          | Suministros Atlas C.A.              |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Pinza amp. 400 AC                         | 2857,14          | 2857,14          | 342,8568 | 3199,9968         | 272680          |                                     |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Balasto 2 x 40 120V                       | 600              | 6.000            | 720      | 6.720             | 272680          |                                     |
| 300                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Cable THW 12                              | 31,25            | 9.375            | 1.125    | 10.500            | 272680          |                                     |
| 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Cable THW # 4                             | 236,61           | 23.661           | 2.839,32 | 26.500,32         | 27268           |                                     |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Caja chasis NLAB 12 Circ sin rincinal     | 4.625            | 9.250            | 1.110    | 10.360            | 272680          |                                     |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Puerta caja NLAB de 12 circ sin principal | 3.499            | 6.998            | 839,76   | 7.837,76          | 272680          | Eléctricos Gabarmi C.A              |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Interruptor doble eige                    | 210              | 1260             | 151,2    | 1411,2            | 2173            |                                     |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Teipe cobra 3/4 x 18 m                    | 155              | 465              | 55,80    | 520,80            | 2173            | Ferremil C.A.                       |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Breaker emb. 1x20                         | 357,14           | 1.785,70         | 214,28   | 1.999,98          | 88121           | Ferre Todo Norte C.A.               |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tornillo A/R 8 x 1                        | 6,25             | 312,50           | 37,50    | 350               | 14433           | MATELECT CA                         |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Cajetín Octogonal                         | 125              | 500              | 60       | 560               | Orden de Compra |                                     |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tubo Fluor T12 40W                        | 323              | 6.460            | 775,20   | 7.235,20          | 3512            |                                     |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Toma 2P                                   | 152,50           | 1.525            | 183      | 1.708,00          | 3512            | Materiales Eléctricos Valencia C.A. |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Pint colonial blanco                      | 541,67           | 4.333,36         | 520      | 4.853,36          | 11022           |                                     |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Interruptor Vimar 1P 10 X                 | 66,51            | 133,02           | 15,96    | 148,98            | 978753          |                                     |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Sócate plafón porcelana 4"                | 71,43            | 285,72           | 34,29    | 320,01            | 978753          |                                     |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Cajetín Met 2 x 4 "                       | 46,29            | 277,74           | 33,33    | 311,07            | Orden de Compra |                                     |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Interruptor doble BTICINO                 | 85,23            | 852,30           | 102,28   | 954,58            | Orden de Compra |                                     |
| 40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Abrazaderas EMT 3/4"                      | 3,86             | 154,40           | 18,53    | 172,93            | Orden de Compra |                                     |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Tubo PVC 3/4" x 3 metros                  | 73,71            | 663,39           | 79,61    | 743               | 979936          |                                     |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Teipe 3M scotch                           | 2.300,00         | 18.400           | 2.208,0  | 20.608            | Orden de Compra |                                     |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tubo PVC 3/4" x 3 metros                  | 73,71            | 1.105,65         | 132,68   | 1.238,33          | Orden de Compra |                                     |
| <b>TOTAL 1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                           |                  |                  |          | <b>188.156,17</b> |                 |                                     |

**Tabla 4.57.** Inversiones por concepto de de recuperación del *Sistema de abastecimiento de agua* de los bancos de turbinas (Precios 2.015).

| <div>  <div> <b>HOJA DE COSTOS DE LA DE RECUPERACIÓN<br/>DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA<br/>DE LOS BANCOS DE TURBINAS.</b> </div>  </div> |                                            |                  |                  |          |                |                 |                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|------------------|----------|----------------|-----------------|------------------------------|
| Cant                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Descripción                                | Precio Unit (Bs) | Precio Neto (Bs) | IVA (BS) | Costo (Bs)     | Factura         | Proveedor                    |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Bomba AZF 15 hp<br>3F. 220/440V<br>Bridada | 149,775          | 149,775          | 17,973   | 167,748        | 55638           | Ingeniería de Bombas C.A.    |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Codo 2" x 90<br>Agua Fría                  | 116,07           | 928,56           | 111,43   | 1.039,99       | 14433           | Ferre Todo Norte C.A.        |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Anillo 2" Agua Fría                        | 84,82            | 678,56           | 81,43    | 759,99         | 14433           |                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Adaptador Macho 2"                         | 71,43            | 285,72           | 34,29    | 320,01         | 14433           |                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ramplug 1/4 Emp (100 piezas)               | 312,50           | 625,00           | 75,00    | 700,00         | 14433           |                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Fondo de Herrería Gris                     | 982,14           | 3.928,56         | 471,43   | 4.399,99       | 14433           |                              |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Union Univ. 2" A/F                         | 459,82           | 1.379,46         | 165,54   | 1.545,00       | 14433           |                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ramplug Plast Azul 5/16                    | 179,12           | 358,24           | 42,99    | 401,23         | 11022           | Ferro Cerámica Valcro C.A.   |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Broca 1/4 - 6.5                            | 1.330,00         | 2.660,00         | 319,20   | 2.979,20       | Orden de Compra | J. Brazzoduro C.A.           |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Pega Alta Presión 1/4                      | 679,47           | 1.358,94         | 163,07   | 1.522,01       | 20363           | Ceramí Hierro La Tejera C.A. |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Tubo agua fría 3/4" x 6 metros             | 258,93           | 1.812,51         | 217,50   | 2.030,01       | 20363           |                              |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Codo Agua fría 3/4"                        | 13,40            | 67,00            | 8,04     | 75,04          | 20363           |                              |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Válv. de Bola Agua Fría 3/4"               | 62,50            | 375,00           | 45,00    | 420,00         | 20363           |                              |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Union Agua Fría 3/4 "                      | 12,00            | 120,00           | 14,40    | 134,40         | 20363           |                              |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Union Universal Agua 3/4"                  | 28,58            | 171,48           | 20,58    | 192,06         | 20363           |                              |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Adaptador 3/4 hembra Agua                  | 13,40            | 80,40            | 9,65     | 90,05          | 20363           |                              |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Brocha 1/2"                                | 30,54            | 30,54            | 3,6648   | 34,2048        | 20363           |                              |
| <b>TOTAL 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                            |                  |                  |          | <b>184.391</b> |                 |                              |

Las copias de las facturas de compra se muestran en los Anexos N° 12.

**Tabla 4.58.** Inversión hecha con recursos del **Fonacit** para la reactivación del banco de turbinas Kaplan (Precios 2.015).

| <div>  <div> <b>HOJA DE COSTOS DE LA REACTIVACIÓN<br/>DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA<br/>TURBINA KAPLAN</b> </div>  </div> |                                              |                  |                  |          |            |         |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|------------------|----------|------------|---------|-----------------------------------|
| Cant                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Descripción                                  | Precio Unit (Bs) | Precio Neto (Bs) | IVA (BS) | Costo (Bs) | Factura | Proveedor                         |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Motor 3F. 220/440 V 30 Hp, 1800 RPM          | 170.857          | 170.857          | 20.502,8 | 191.359,84 | 55642   | Ingeniería de Bombas C.A.         |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Juego de llaves con tubo visor               | 7.613,72         | 7.613,72         | 913,65   | 8.527,37   | 404     |                                   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Empaquetadura de 1/2" (kilogramo)            | 7.000            | 7.000            | 840      | 7.840      | 7864    | Timer Servicios Industriales C.A. |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Vacuometro, rango 0 a 30 PSI                 | 450,00           | 900              | 108      | 1.008      | 7864    |                                   |
| 30                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Abrazadera 3/4"                              | 3,86             | 115,80           | 13,90    | 129,70     | 979936  | MEVAL C.A.                        |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Buje Soldado agua fría de 3/4"               | 8,47             | 33,88            | 4,07     | 37,95      | 11022   | Ferro Cerámica Valcro C.A.        |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Brocha 3"                                    | 149,9            | 299,80           | 35,98    | 335,78     | 11022   |                                   |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Galón Pintura Esmalte Gris                   | 708              | 7.080            | 849,60   | 7.929,60   | 20363   |                                   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Manguera nivel 1/2"                          | 3.674,29         | 3.674,29         | 440,91   | 4.115,20   | 11022   |                                   |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Conexión para tanque                         | 98,21            | 196,42           | 23,57    | 219,99     | 14433   | Ferre Todo Norte C.A.             |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Abrazadera 3/8"                              | 35,71            | 1.785,50         | 214,26   | 1.999,76   | 14433   |                                   |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Mano-vacuometro, -30 a +30 PSI con glicerina | 2.800            | 8.400            | 1.008    | 9.408      | 8118    | Rojas Componentes y Válvulas C.A. |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Manómetros 0-15 PSI                          | 1.800            | 7.200            | 864      | 8.064      | 8118    |                                   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Tablero NAB 412                              | 28.941,65        | 28.941,65        | 3.473,00 | 32.414,65  | 52240   | Redema C.A.                       |
| TOTAL 3                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                  |                  |          | 273.389,84 |         |                                   |

Las copias de las facturas de compra se muestran en los Anexos N° 12.

**Tabla 4.59.** Inversión hecha con recursos del **Fonacid** para la reactivación del banco de turbinas Pelton-Francis (Precios 2.015).

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>HOJA DE COSTOS DE LA REACTIVACIÓN<br/>DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA<br/>TURBINA PELTON-FRANCIS</b> </div>  </div> |                                  |                  |                  |          |                   |                 |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Cant                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Descripción                      | Precio Unit (Bs) | Precio Neto (Bs) | IVA (BS) | Costo (Bs)        | Factura         | Proveedor                         |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Bomba Motor 15 Hp 220/440 V.     | 149.775          | 149.77           | 17.973   | 167.748           | 5638            | Ingeniería de Bombas C.A.         |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Kg electrodo 6013 1/8"           | 1.200,00         | 2.400,00         | 288,00   | 2.688             | Orden de Compra |                                   |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Cepillo de Alambre               | 550,00           | 1.100,00         | 132,00   | 1.232             | Orden de Compra | J. Brazzoduro C.A.                |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Brocha 4"                        | 650,00           | 1.300,00         | 156,00   | 1.456             | Orden de Compra |                                   |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Mascarilla Anti polvo Desechable | 9,50             | 475,00           | 57,00    | 532               | Orden de Compra | Ferre Todo Norte C.A.             |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Spray Limpia Contacto            | 1.160,71         | 4.642,84         | 557,14   | 5.199,98          | 14457           |                                   |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rueda Nylon 2"                   | 325,89           | 1.303,56         | 156,43   | 1.459,99          | 23561           | FER-K-Rueda C.A.                  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rueda TW fija 10"                | 1.500,00         | 3.000,00         | 360,00   | 3.360             | 23561           |                                   |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rueda TW gir 10"                 | 1.066,96         | 2.133,92         | 256,07   | 2.389,99          | 23561           |                                   |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Apertura de cilindro y original  | 1.500,00         | 1.500,00         | 180,00   | 1.680             | Orden de Compra | Cerrajería security technology JG |
| <b>TOTAL 4</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                  |                  |                  |          | <b>187.745,96</b> |                 |                                   |

El **Costos totales de la inversión hecha con recursos de Fonacit** en la reactivación de los bancos, es la sumatoria de los Costó parciales de cada uno de los sistemas a los cuales se les realizo el seguimiento de gastos en materiales, equipos e instrumentos mostrados en las tabla 4.56, 4.57, 4.58, y la 4.59, el cálculo viene dado por:

$$\text{Costo Inversión Fonacit} = \text{Total 1} + \text{Total 2} + \text{Total 3} + \text{Total 4}$$

$$\text{Costo Inversión Fonacit} = 188.156,17 + 184.391 + 273.389,84 + 187.745,96 =$$

$$\text{Costo Inversión Fonacit} = 484.292,09$$

**La Inversión hecha con los recursos provenientes de Fonacit es de: Bs. 833.682,97**

- **Donaciones:** costos de inversión para la reactivación de los bancos de turbinas, realizados por *Corpoelec, Docentes y Tesistas* de la UC, que incluyeron: *mano de obra, materiales y equipos*. Los **Costos por concepto de donaciones** se presentan en la tabla 4.60 y los **Costos por Mano de obra** se pueden ver en la tabla 4.61 y en la tabla 4.62.

**Tabla 4.60.** Inversión por **donaciones** para la reactivación del bancos de turbina Kaplan.

| <div>  <div> <b>HOJA DE INVERSIONES POR DONACIONES</b><br/> <b>PARA LA REACTIVACIÓN DEL BANCO DE</b><br/> <b>PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN</b><br/> <b>( Precios del 2.013- 2.014)</b> </div> </div> |                                                    |                 |               |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| Cantidad                                                                                                                                                                                                                                                                             | Descripción                                        | Costo Unit (Bs) | Costo (Bs)    | Donado por ( monto en Bs): |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Lija N° 80                                         | 60              | 240           | CORPOELEC<br>( 20.810)     |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Lija N° 220                                        | 60              | 240           |                            |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Válvulas 1/4 ", bronce, aperture rápida            | 250             | 2.000         |                            |
| --                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Empaquetadura asbesto, goma.                       | 5.000           | 5.000         |                            |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Abrazadera 3/4"                                    | 15              | 150           |                            |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Manómetros 0-4 bar con glicerina                   | 3.200           | 6.400         |                            |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Cepillo con celdas de alambre                      | 86              | 430           |                            |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Silicón transparente 200 cc                        | 250             | 250           |                            |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Pega marina o de resina                            | 30              | 30            |                            |
| --                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Mecanizado en base de bomba axial                  | 800             | 800           |                            |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Galón Pint. Fondo Gris                             | 700             | 1.400         |                            |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Brocha 1/2"                                        | 45              | 90            |                            |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Galón Pint. Esmalte Azul oscuro                    | 450             | 900           |                            |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Tornillo con tuerca 1/2 "x 3"                      | 60              | 2400          |                            |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Red. hembra-Macho 1/8 "x 1/4 "                     | 120             | 480           |                            |
| --                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Tubo galvanizado 1/2"                              | 80              | 80            | Tesistas<br>( 3630)        |
| --                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Guaya 1/8 "con perros de ajuste                    | 50              | 50            |                            |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Dinamómetro 200 kg                                 | 3.500           | 3.500         |                            |
| 3 m                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Manguera nivel 1/2"                                | 15              | 45            | CIHAM-UC:<br>( 16.185)     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Válvula de compuerta Agua Fría 1/2"                | 90              | 90            |                            |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Abrazadera 3/8"                                    | 15              | 150           |                            |
| --                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Adaptación en Tacómetro analógico en turb. Kaplan. | 1000            | 1000          |                            |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Manómetros 0-60 PSI, seco                          | 2.200           | 4.400         |                            |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Tacómetro Digital, rango 0-10000 rpm               | 10.500          | 10.500        |                            |
| <b>TOTAL 5</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                    |                 | <b>40.625</b> |                            |

**Tabla 4.61.** Estimación de **Costo por mano de obra** para la recuperación del sistema de alimentación eléctrica, sistema de abastecimiento de agua, y bancos de turbina Kaplan.

|  |                                                             | ESTIMACIÓN DE COSTOS POR MANO DE OBRA<br>REACTIVACIÓN DE LOS BANCO DE TURBINAS |                  |      |                    |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|--------------------|---------------------------|
| Nº                                                                                | Componente o equipo                                         | Calificación personal                                                          | Nº trabajador es | Días | Costo por día (Bs) | Costo días Trabajados(Bs) |
| SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO DE LOS BANCOS DE TURBINAS (Sueldos 2.015)       |                                                             |                                                                                |                  |      |                    |                           |
| 1                                                                                 | Circuito de tomas de 110 v en áreas de los bancos.          | Tco. electricista UC                                                           | 1                | 3    | 600                | 1.800                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 3    | 500                | 1.500                     |
| 2                                                                                 | Instalación de tablero industrial Nab 412 y breaker 100 A   | Tco. eléctrico UC                                                              | 1                | 5    | 600                | 3.000                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 5    | 500                | 2.500                     |
| 3                                                                                 | Sustitución de fluorescentes en áreas de los bancos.        | Tco. electricista UC                                                           | 1                | 5    | 600                | 3.000                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 5    | 500                | 2.500                     |
| 4                                                                                 | Eliminación de cajetín superficial en piso.                 | Tco. electricista UC                                                           | 1                | 1    | 600                | 600                       |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 1    | 500                | 600                       |
| SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LOS BANCOS DE TURBINAS( Sueldos 2.015)       |                                                             |                                                                                |                  |      |                    |                           |
| 5                                                                                 | Instalación de linea principal para del agua en los bancos. | Plomero UC                                                                     | 1                | 3    | 600                | 1.800                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 3    | 500                | 1.500                     |
| 6                                                                                 | Instalación de linea de agua al banco de la turbina Kaplan. | Plomero UC                                                                     | 1                | 2    | 600                | 1.200                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 2    | 500                | 1.000                     |
| BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN (Sueldos 2.014)                             |                                                             |                                                                                |                  |      |                    |                           |
| 7                                                                                 | Mantenimiento de Panel y control de banco                   | Tco. eléctrico Corpoelec                                                       | 3                | 3    | 700                | 6.300                     |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 3    | 300                | 9.00                      |
| 8                                                                                 | Mantenimiento de turbina, bomba axial y ducteria del banco  | Tco. mecánico Corpoelec                                                        | 4                | 5    | 800                | 16.000                    |
|                                                                                   |                                                             | Asistente                                                                      | 1                | 30   | 300                | 9.000                     |
| 9                                                                                 | Pintura externa del banco                                   | Obreros UC                                                                     | 3                | 3    | 400                | 3.600                     |
| TOTAL 6                                                                           |                                                             |                                                                                |                  |      |                    | 56.800                    |

**Tabla 4.62.** Estimación de Costo por **mano de obra** para la reactivación del banco de turbina Pelton-Francis.

|  |                                    | ESTIMACIÓN DE COSTOS POR MANO DE OBRA<br>REACTIVACIÓN DE LOS BANCO DE TURBINAS |                 |      |                    |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|--------------------|---------------------------|
| BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA PELTON-FRANCIS ( Sueldos 2.015)                    |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| Nº                                                                                | Componente o equipo                | Calificación personal                                                          | Nº trabajadores | Días | Costo por día (Bs) | Costo días Trabajados(Bs) |
| Sistema de transformación de energía hidráulica a mecánica                        |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 1                                                                                 | Turbina Pelton                     | Tco. mecánico                                                                  | 1               | 4    | 800                | 3.200                     |
| 2                                                                                 | Turbina Francis                    | Asistente                                                                      | 1               | 4    | 500                | 2.000                     |
| Sistema de simulación del recurso hidráulico                                      |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 3                                                                                 | Bomba hidráulica                   | Tco. Eléctrico                                                                 | 1               | 1    | 1.000              | 1.000                     |
| 4                                                                                 | El Depósito                        | Asistente                                                                      | 2               | 4    | 500                | 4.000                     |
| 5                                                                                 | Tubería y accesorios               | Tco. mecánico                                                                  | 1               | 2    | 800                | 1.600                     |
| Sistema de Control e instrumentación                                              |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 6                                                                                 | Tacometro Turbina Pelton- Francis. | Tco. mecánico                                                                  | 1               | 1    | 800                | 800                       |
| 7                                                                                 | Piezómetro de Hg                   |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 8                                                                                 | Torsiómetro de la Turbina          | Asistente                                                                      | 1               | 2    | 500                | 1.000                     |
| 9                                                                                 | Placa orificio del banco           |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| Sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica y calórica              |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 10                                                                                | Freno Prony                        | Tco. mecánico                                                                  | 1               | 1    | 1.000              | 1.000                     |
| 11                                                                                | Generador                          | Tco. Eléctrico                                                                 | 1               | 1    | 800                | 800                       |
|                                                                                   |                                    | Asistente                                                                      | 1               | 1    | 500                | 500                       |
| Sistema de mando y control eléctrico en el bancos de turbinas                     |                                    |                                                                                |                 |      |                    |                           |
| 12                                                                                | Panel de control                   | Tco. Eléctrico                                                                 | 1               | 2    | 1000               | 2.000                     |
| 13                                                                                | Banco de resistencia               | Tco. Eléctrico                                                                 | 1               | 2    | 1000               | 2.000                     |
| TOTAL 7                                                                           |                                    |                                                                                |                 |      |                    | 19.900                    |

El monto de **Costo de inversión total** por concepto de **Donaciones y Mano de obra** es:

$$\text{Costo Inversión (Donaciones y Mano de obra)} = \text{Total 5} + \text{Total 6} + \text{Total 7}$$

$$\text{Costo Inversión (Donaciones y Mano de obra)} = 40.625 + 56.800 + 19.900$$

**Costo Inversión** (Donaciones y Mano de obra) = **Bs. 117.325**

El **Costo de la Inversión** hecha con los recursos provenientes de **Donaciones y Mano de obra** es de: **Bs. 484.292,09**

■ **Universidad de Carabobo:** El costo de la **logística** de los días laborados en el laboratorio por el personal de **Corpoelec** y **Tesistas** para la reactivación del banco de turbina Kaplan, a los cuales se les proporcionó **Refrigerio** y **Almuerzo**, se estimó de la siguiente manera:

**Costo por Logística= Costo por Refrigerio + Costos por Almuerzos**

Dónde:

**Costo Ref.= Precio Ref (Nº Tec. Elect x Nº días + Nº Tec. Mec x Nº días + Nº Tesista x Nº días)**

**Costos Alm= Precio Alm (Nº Tec. Elect x Nº días + Nº Tec. Mec x Nº días + Nº Tesista x Nº días)**

La inversión por concepto de logística, se pueden ver en la tabla 4.63:

**Tabla 4.63.** Inversiones por logística para la reactivación del banco de turbina Kaplan.

| <b>Tipo de comidas</b>  | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo por Logística (Bs)</b> |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| <b>Costo Refrigerio</b> | 120                         | 6.000                           |
| <b>Costos Almuerzo</b>  | 50                          | 2.500                           |
| <b>TOTAL 8</b>          |                             | <b>8.500</b>                    |

Los **Costos de Inversión por gastos por logística** son de: **Bs. 8.500**

El **Costo estimado de la Inversión** hasta estos momentos en la ejecución de la reactivación es la siguiente:

**Costo Reactivación = Costo Inv. Fonacit + Costo Inv. (Donaciones y Mano de obra) + Costo Inv. Logística**

$$\text{Costo Reactivación} = 833.682,97 + 117.325 + 8.500 = 610.117,09$$

$$\text{Costo Reactivación} = \text{Bs. } 610.117,09$$

El monto del **Costo de la Inversión para la Reactivación de los bancos de turbinas** en forma manual que se estiman en la actualidad es de: **Bs. 959507,97**.

#### 4.5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- Comparando el Costo de reactivación del banco de **turbina Kaplan** en su etapa inicial, el cual fue de **Bs. 97.425** (gastos por donaciones y mano de obra) y el Costo del motor nuevo (marca **NIDEC MOTOR CORPORATION de 30 hp**) que fue de **Bs. 191.359**, se puede notar que el costo de reactivación es baja y representa el **51%** del costo del motor nuevo.
- Para la reactivación del banco de turbina Pelton-Francis, se cuenta con la totalidad de los materiales, equipos e instrumentos, al igual que el costo de mano de obra. En la actualidad, no se ha revisado la bomba de este sistema, pero se cuenta con una bomba nueva (marca **Malmedi de 15 hp**) para la sustitución de la misma. ***Esto garantiza la operatividad de banco por lo menos 5 años.***
- La reactivación de estos bancos son para **uso didáctico**, dirigidos a estudiantes y profesionales de la **Universidad de Carabobo**. ***No se espera beneficios económicos o retorno*** de la inversión por la venta de energía eléctrica ya que los ***beneficios son sociales.***

Por el análisis anteriormente planteado, se puede afirmar que:

**EL PROYECTO ES FACTIBLE.**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### CONCLUSIONES.

- El **62%** de los Equipos eléctrico y las Turbomáquinas que conforman los bancos de pruebas de las turbinas se encuentran electro-mecánicamente **Buenas**, el **28 % Regulares** y el **10% malas**. Estos resultados se debe a que muchos de sus componentes son de **bronce** y estuvieron bien resguardadas desde que se desincorporaron hace 40 años. La operatividad y los parámetros de funcionamiento de la turbina reactivada (Kaplan), cumplen con los requerimientos energéticos exigidos de manera satisfactoria.
- Con la compra del motor nuevo se puede asegurar que el banco de turbina se mantendrá **operativo por lo menos 5 años** (garantía del motor), sin contar con lo que pueda durar la unidad motora que está instalado y operativo en el banco. La reactivación de estos bancos son para **uso didáctico**, dirigidos a estudiantes y profesionales de la Universidad de Carabobo. **No se espera beneficios económicos o de retorno** de la inversión por la venta de energía eléctrica, ya que los **beneficios son sociales**.
- A pesar del buen funcionamiento que presentan los componentes eléctricos de control y potencia del panel de control de los bancos, la obsolescencia de muchos de estos componentes, hace suponer que será difícil conseguir el repuesto en caso de que se presente alguna falla en alguno de estos componentes. Igual sucede con el freno Prony que en la actualidad es muy poco usada para obtener la Potencia en el eje (o potencia al freno), aunque por su sencillez, estabilidad y medición lo hacen muy utilizado para fines didácticos.
- La **Curva característica** de una Turbomáquina hidráulica solo puede obtenerse experimentalmente, bien instalada **In Situ** o en un **banco de prueba de un laboratorio** en donde puedan ser controladas las variables que intervienen. Pueden realizarse curvas características **analíticas o semiempíricas** que pueden ser usadas para predecir

aproximadamente un comportamiento de una Turbomáquina en construcción o en condiciones de servicio, pero tiene la desventaja de su carácter aproximado.

### **RECOMENDACIONES.**

- Elaboración de un *Manual del usuario* para todos los sistemas que conforman los bancos de turbinas, al igual que las prácticas que pueden realizarse en ellas.
- Elaboración de un *Manual de mantenimiento* para los bancos de turbinas y un plan de ejecución de dicho mantenimiento.
- Sustitución de los *Instrumentos de medición y control analógicos* de los bancos por otros de tecnología moderna (digitales), incorporando un *Gabinete móvil* en donde se centralice la información obtenida por dichos instrumentos.
- Adaptar un Generador eléctrico al eje de la turbina Kaplan, compatible con las características de dicha turbina.
- Preparación de un personal calificado para las operaciones de estos bancos de pruebas, de esta manera se garantizará la funcionabilidad de dichos bancos por un tiempo prolongado.

## BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.maquinadosstop.com/secciones/calidad.htm>
- <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=2>
- <http://www.Armfield - Educational Turbines - R15 & R16.mht>
- <http://www.AXIAL Y KAPLAN CAT\ Armfield - Educational Turbines - R14, R17 & R18.mht>
- <http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas%20hidraulicas/BOMBAS>.
- <http://massy-anlagenbau.com/act/MechanicsLab.pdf>
- Hicks, Tyler B.M.E. Bombas, su selección y aplicación. México. Compañía Editorial Continental, S.A. 1977.
- King, Horace Williams. Manual de Hidráulica. México. Unión Tipográfica Editorial hispano Americana. 1962.
- Manual de Hidráulica, J.M. de Azevedo, Harla S.A. 1976.
- Tablas y Gráficos de mecánica de fluidos, Assureira Espinoza Estela, Editorial Pucp 2003.
- Mataix, Claudio. Turbomáquinas Hidráulicas. 2ª Edición. Biblioteca Comillas Ingeniería 05.
- Streeter, Víctor L. Mecánica de los fluidos. México. Libros Mc Graw-Hill. 1975.
- Robert I. Mott. Diseño de elemento de máquina. 2ª edición. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANO, S.A.
- Luz Giugni de Alvarado. Corina Ettedgui de Betancourt. Evaluación de Proyecto de Inversión. Primera Edición. Universidad de Carabobo, 1995.

# **ANEXOS.**

## ANEXO N° 1. TRADUCCIÓN DEL CERTIFICADO DE LA TURBINA KAPLAN.

GILBERT GILKES Y GORDON LTD  
TURBINAS HIDRAULICAS  
GOBERNADORES DE TURBINAS HIDRÁULICAS  
GGG AUTOCEBANTES BOMBAS SU REFERENCIA

### ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO.

#### TEMA 1. TURBINA.

ONE - 8 "DE DIÁMETRO EJE VERTICAL ESPIRAL ENTUBADO GILKES " turbina Kaplan, diseñado para las siguientes funciones:

Salida ..... 3,56 BHP

Cabeza neto ..... 10 pies

Cantidad de agua..... 1470 G.P.M.

Velocidad normal ..... 1.070 RPM

La turbina se construyó como se describe en el prospecto adjunto M6/15 y estaría completa con el equipo especificado en el mismo, excepto que el tubo de aspiración de acero suave se omite, está siendo reemplazado por un tubo de aspiración que forman parte del codo de la tubería de interconexión citado a continuación.

PRECIO ..... € 1.050,0 . 0d . NETT .

#### UNIDAD DE BOMBA.

UN FIN DE LA BOMBA DE ASPIRACIÓN SET TIPO DX.121, diseñado con las siguiente características:

De salida ... 3000 G.P.M.

Altura de elevación total ..... 15 pies

Rama Tamaño ..... 12 "X 12 "

Velocidad ..... 720 R.P.M.

Eficiencia ..... 70 %

B.H.P. Absorto .... 19 B.H.P.

Min. . H.P motor recomendado ..... 20 B.H.P.

La carcasa de la bomba sería de una estrecha elenco de grano hierro, tipo espiral, incorporando pedestal pesado con base ancha para formar un soporte libre de la vibración de la bomba.

El impulsor sería de bronce.

El eje será de acero de alta resistencia, con acabado de suelo.

La bomba tendría prensaestopas de fácil acceso de amplia profundidad y resistente cojinetes espaciados es de hierro fundido, el alojamiento del cojinete.

#### MOTOR.

ONE – eje horizontal a prueba de goteo continua nominal del motor de inducción de jaula de patrón, capaz de desarrollar 20 CV a una velocidad sincrónica de 750 R.P.M., de 400/440 voltios, 3 fases, 50 ciclos de alimentación. El motor sería equipado con rodamientos de bolas y tendría caja de terminales dispuestos para conexiones de conducto atornilladas.

La bomba y el motor por encima se montan en una placa base de acero fabricado y se conectan por medio de un acoplamiento flexible, protegido por un protector del acoplamiento.

Precio ..... € 450 . 0d . NETT

CUATRO CIENTO CINCUENTA LIBRAS NETT .

#### Interconexión de tuberías.

Un conjunto de tuberías de fibra de vidrio, incorporando acuerdo de derivación, por lo general de 12 " de diámetro nominal , pero la incorporación de 15 ". Tubería nominal de perforación inmediatamente anterior y posterior a la turbina. Todas las tuberías se bridas y los dos cirios bridas necesarias entre 12 "y 15 " de tuberías se incluiría. Un tubo de orificio 15 " en la posición vertical se incluye para actuar como un depósito. Sería aproximadamente 5 pies de altura.

Un orificio 12 " de brida de la válvula de by-pass se proporcionaría en el by-pass. Todas las juntas necesarias brida, pernos y tuercas se proporcionarían. Las bridas se fijan a los tubos en todos los casos, a excepción de una brida tanto en el suministro y los circuitos de retorno que se dejan sueltos para fijar en posición en el sitio por adhesivo de resina suministrada por nosotros.

Los dos tramos de tubería de fibra de vidrio apropiado para estas dos bridas sueltas se suministran ligeramente sobre el tamaño y podrían reducirse en una sierra a la longitud requerida. Esto permitiría al conjunto de la bomba y la turbina que se instalen en bases permanentes sin precisión indebida con respecto a la distancia central entre ellos. La línea de succión de la bomba se instala inicialmente entre la bomba y la turbina y esto por seguido por la tubería de entrada a la turbina, en la que se observará es una curva de cuña. Esta curva herida sea la longitud de la tubería se suministra en la tubería de entrada a la turbina, que tiene la brida suelta, y en virtud de la acción de cuña permitiría una igualación exacta del flujo y volver longitudes de circuito. Un jefe atornillado se proporcionaría en el tubo de aspiración Kaplan, a las que se puede montar un manómetro de vacío combinado.

Pies de fibra de vidrio corta se construirían en los intervalos de tuberías de fibra de vidrio para permitir el apoyo de la tubería sobre pilares de ladrillo.

ONE - 12 " TUBO VENTURI DALL, completo con manómetro mercurial, tuberías de interconexión y el primer llenado de mercurio sería incluido .

#### UN ORIFICIO Y MANÓMETRO COMO ALTERNATIVA.

UNA MANO DE MONTAJE DE PARED OPERADO ESTRELLA DELTA DE ARRANQUE, con tres sobrecarga y liberación falta de tensión en caso de fundición a presión totalmente cerrado se proporcionará para el control del motor.

Precio ..... € 825 . Od . NETT

OCHOCIENTOS VEINTE LIBRAS, NETT  
(Motor de la bomba y la turbina excluida).

GILBERT GILKES Y GORDON LTD  
TURBINAS HIDRAULICAS  
GOBERNADORES DE TURBINAS HIDRÁULICAS  
GGG AUTOCEBANTES

BOMBAS SU REFERENCIA

#### ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO.

##### ARTÍCULO 1A. Unidad A. TURBINA.

ONE - 8 "de diámetro EJE VERTICAL ESPIRAL ENTUBADO Gilkes " turbina Kaplan, diseñado para el siguiente derecho:

Salida ..... 1,62 BHP

Cabeza neto ..... 6 pies  
Cantidad de agua ..... 1140 G.P.M.  
Velocidad normal ..... 830 RPM

La turbina se construyó como se describe en el prospecto adjunto M6/15 y estaría completa con el equipo especificado en el mismo .

PRECIO ..... € 1.050,0 . 0d . NETT .

MIL CINCUENTA LIBRAS. NETT.

La bomba sería horizontal del tipo de flujo axial de paso variable, que tiene 10 " de succión y ramas de entrega.

La bomba habría cuerpo de hierro fundido y curva de descarga, junto con el cilindro de plexiglás, instalado en el lado de entrada de la bomba.

De descarga y válvulas de guía sería integral con un cuerpo de hierro fundido.

El rotor sería de bronce, realizada sobre un eje de acero. Cuando el eje pasa a través de la curva de descarga se proporcionaría un prensaestopas adecuado.

El eje se realizaría en dos cojinetes Tuffnel lubricados por agua, uno en un jefe integral con las paletas de descarga y de guía y el otro en la caja de relleno.

Estos dos rodamientos se lubrican con el agua que se bombea.

El impulso de ser a través de un pin y el tipo arbusto acoplamiento flexible convenientemente vigilado. La unidad estaría completa con el engranaje de ajuste de cuchilla para permitir el paso de las palas que se varió entre  $8\frac{3}{4}$  y  $3\frac{3}{4}^{\circ}$ .

Es necesario detener la bomba para cambiar el ángulo de la cuchilla.

Dinamómetro.

ONE- 30 H.P. GOTEIO TIPO PRUEBA CONTINUAMENTE Deslizamiento nominal del patrón de timbre MOTOR. , Equipado con rodamientos de bolas, lo haría para 400/440, 3 fases, la oferta del ciclo 50. , Con una velocidad de sincronismo de 1500 RPM El dinamómetro se montaría en especial muñoneras.

La bomba y el motor por encima serían montados en una bancada y se conectan por medio de un acoplamiento flexible, protegido por un protector del acoplamiento. En esta placa de soporte también se montaría fuerza de un tipo de medidor Gilkes ( similar a la proporcionada en nuestro tutor unidad de Pelton ) y un tacómetro mecánico montado en el extremo de la unidad de dinamómetro.

La unidad anterior es adecuado para el funcionamiento de la turbina de arriba y capaz de las siguientes funciones:

Salida ..... 2100 G.P.M.  
Directos Total ..... 10 pies  
Min recommended H : P : ..... 30 H.P.  
Velocidad de la bomba ..... 1450 R.P.M.  
De arranque incluido.

PRECIO ..... € 989.0 . 0d . NETT .

#### ANILLO DE LA TURBINA KAPLAN.

Este aparejo Kaplan incorporaría la turbina y la bomba de flujo axial set / dinamómetro, como se describe en la página 4, junto con la interconexión de tuberías de la siguiente manera:

ONE - conjunto de tubería de fibra de vidrio , generalmente de 12 " de diámetro, diámetro nominal , pero la incorporación de 15 " tubería diámetro nominal inmediatamente anteriores y posteriores a la turbina.

Todas las tuberías se bridan y los cirios con bridas necesarias serían incluidos.

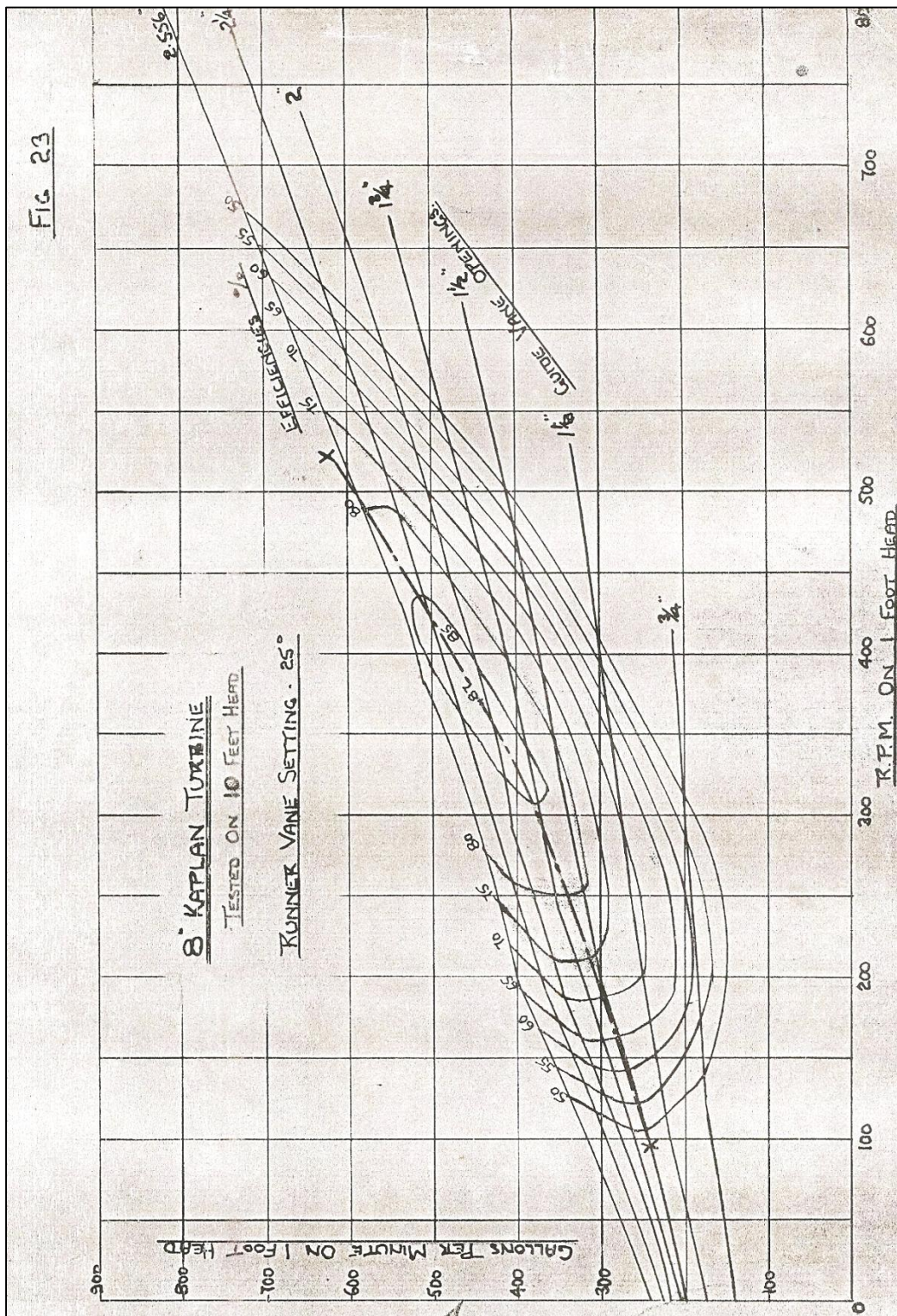
Un tubo de orificio 15 " en la posición vertical se incluye para actuar como un depósito. Sería aproximadamente 5 pies de altura. Todas las uniones embridadas necesarias, pernos y tuercas se proporcionarían. Las bridas se fijan a los tubos en todos los casos, a excepción de una brida tanto en el suministro y los circuitos de retorno que se dejan sueltos para fijar en posición en el sitio por adhesivo de resina suministrada por nosotros. Los dos tramos de tubería de fibra de vidrio apropiadas para estos dos bridas sueltas se suministran ligeramente sobre tamaño y podrían reducirse en un cierra a la longitud requerida. Esto permitiría a los cimientos de la bomba sin precisión indebida con respecto a la distancia central entre ellos.

La línea de succión de la bomba se instala inicialmente entre la bomba y la turbina y esto sería seguido por la tubería de entrada a la turbina en la que se observará es una curva de cuña. Esta curva de cuña sería la longitud de la tubería se suministra en la tubería de entrada a la turbina, que tiene la brida suelta y en virtud de la acción de cuña que permitiría una igualación exacta del flujo y volver longitudes de circuito. Un jefe atornillado se proporcionaría en el tubo de aspiración Kaplan, a las que se puede montar un manómetro de vacío combinado. Pies de fibra de vidrio corta se construirían en la tubería de fibra de vidrio a intervalos para permitir el apoyo de la tubería sobre pilares de ladrillo.

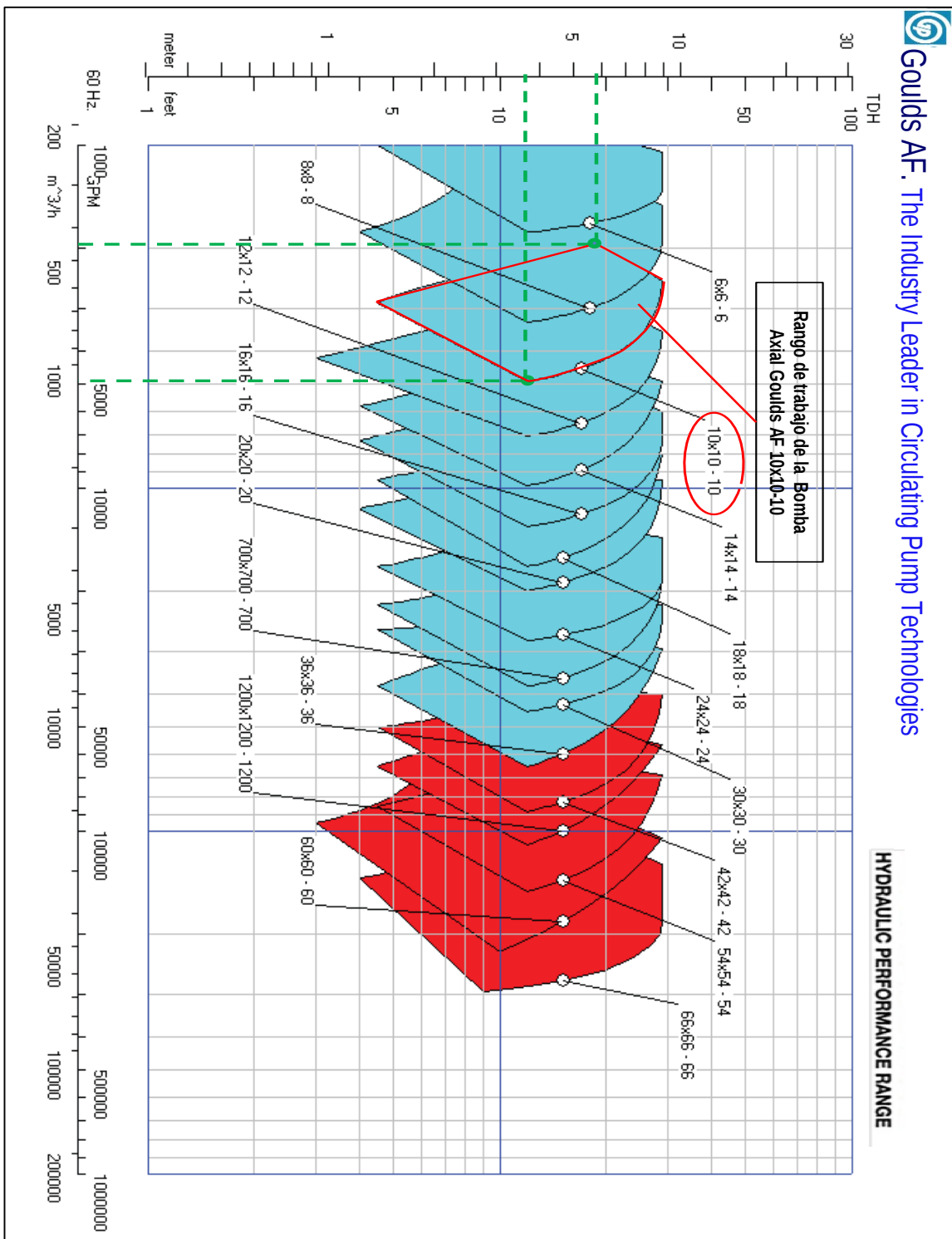
MEDIDOR DE ONE - VENTURE , completo con manómetro, se incluiría tuberías de interconexión .

PRECIO ..... € 629.0 . 0d . NETT .  
( excluyendo bomba, el motor y la turbina )

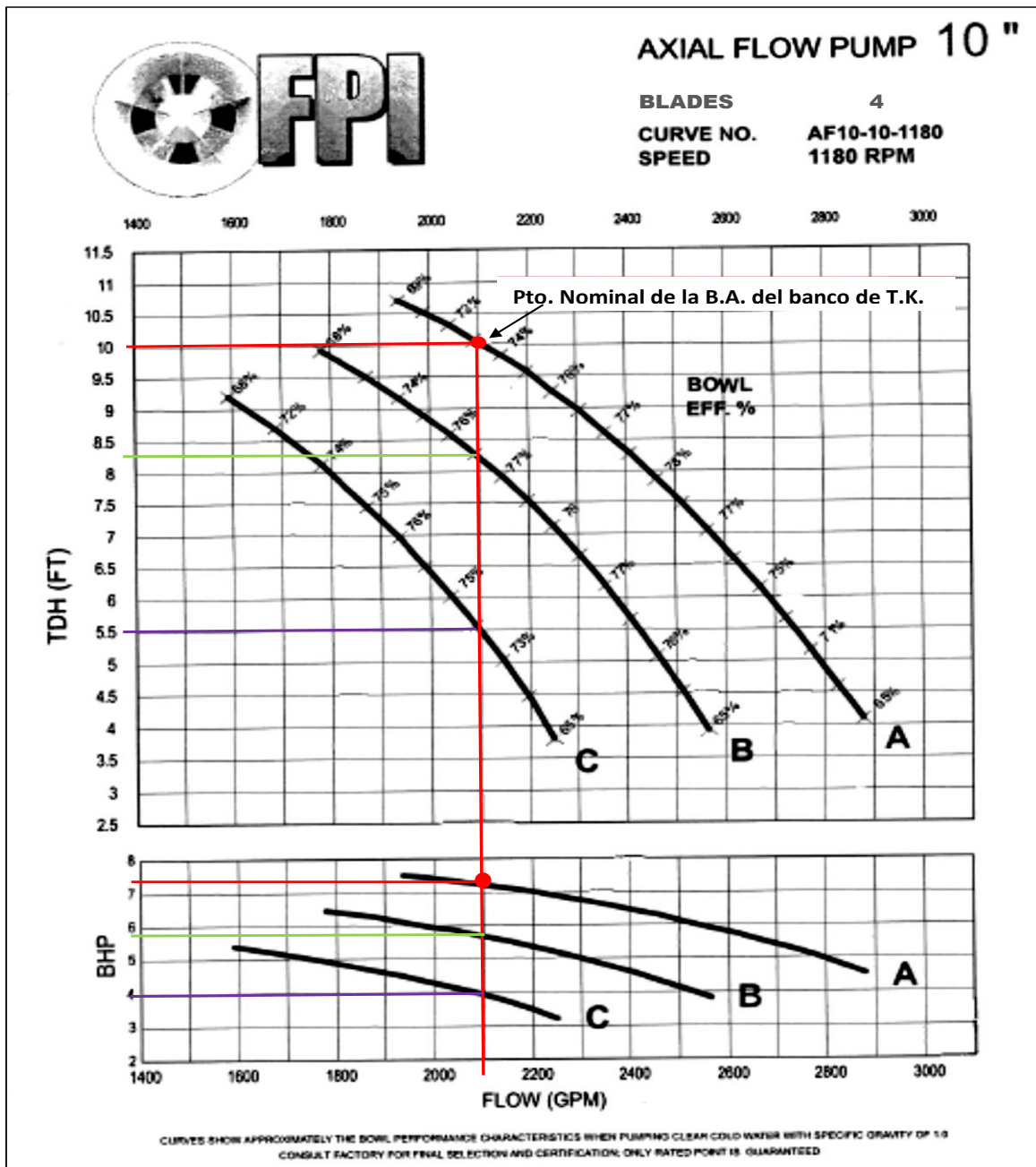
**ANEXO N° 2. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA TURBINA KAPLAN 5960, A 10 FT DE ALTURA.**



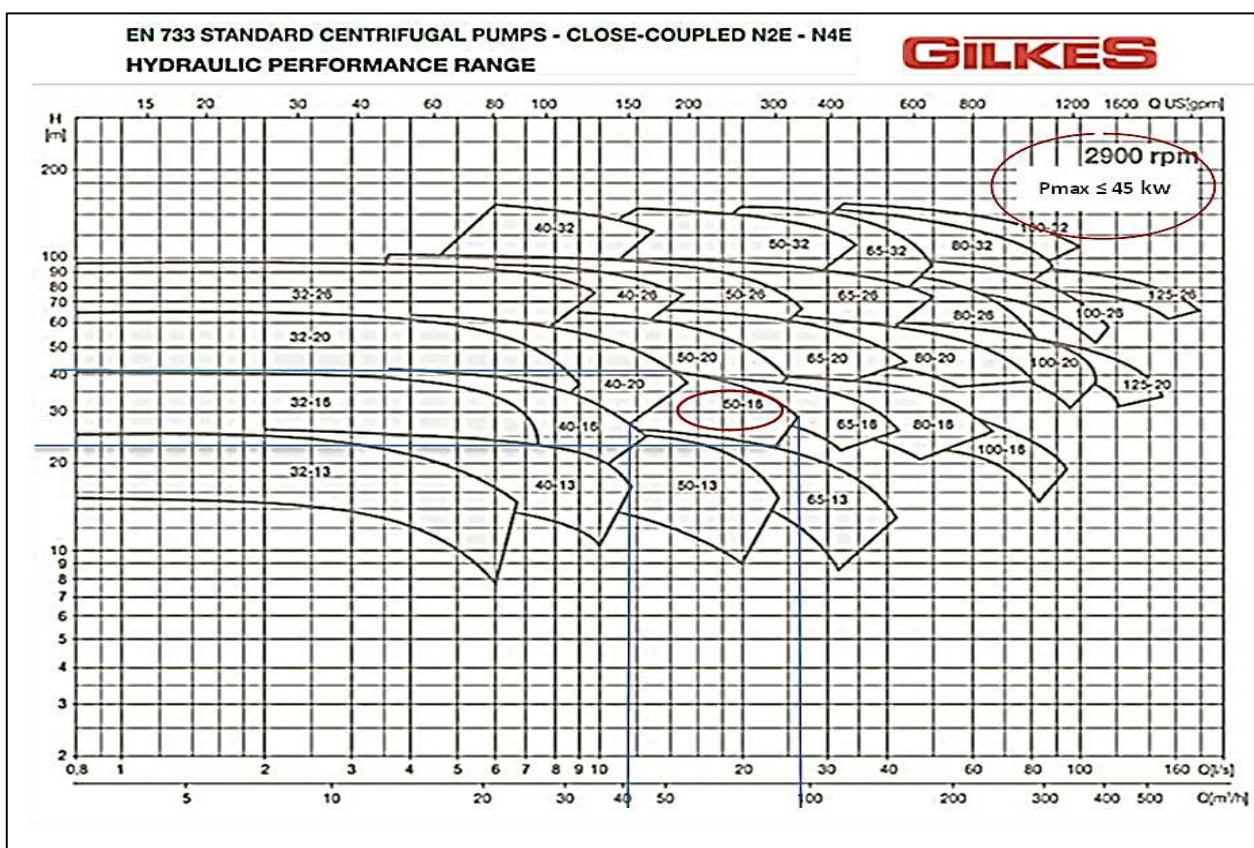
### ANEXO N° 3. Catálogo de curvas de bombas de flujo axial Goulds AF



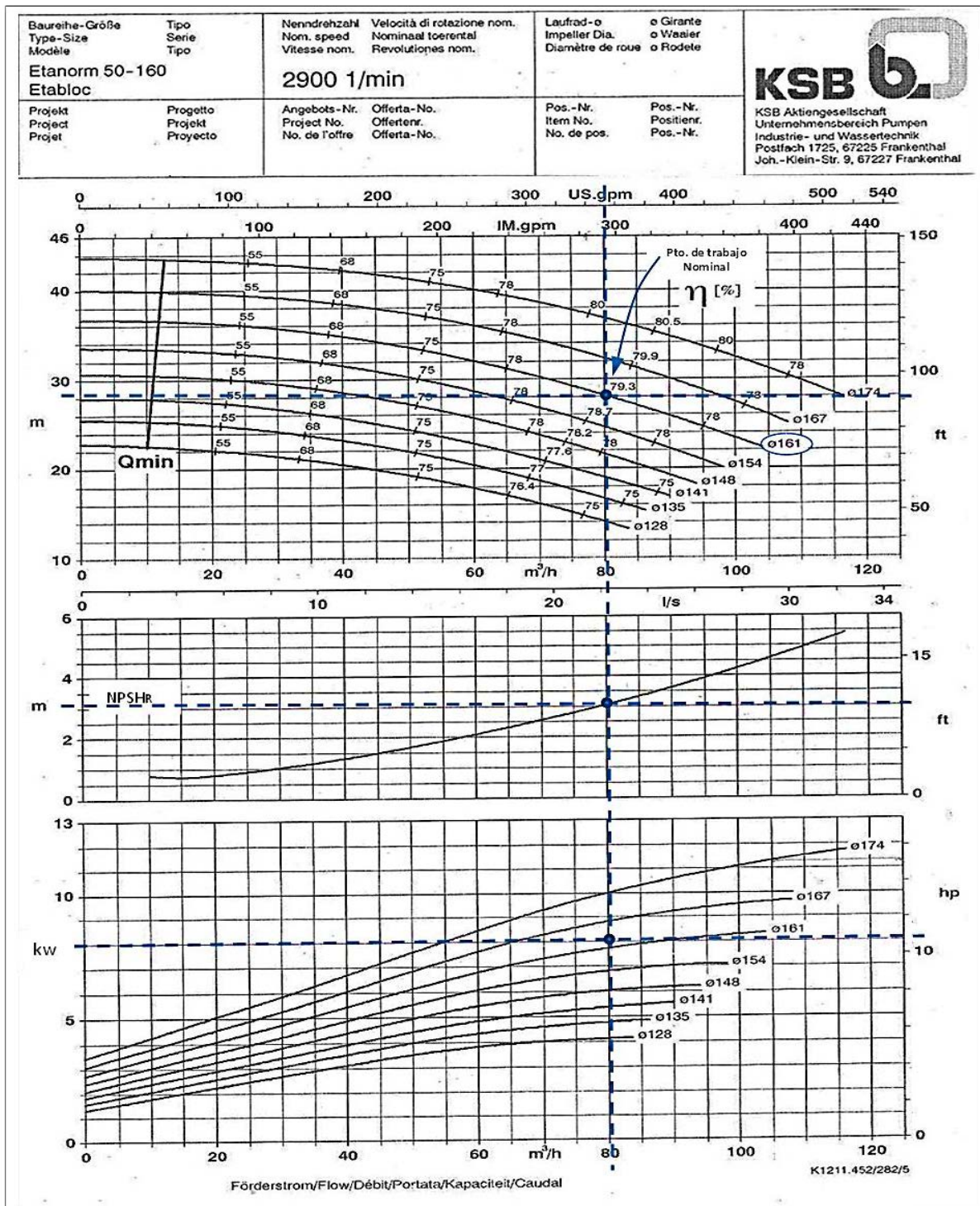
ANEXO N° 4. CURVA CARACTERÍSTICA FFPI PUMPS SERIE AF 10-10-1180.



ANEXO N° 5. Carta comercial de bombas *GILKES PUMPS* ([www.gilkes.com](http://www.gilkes.com)).



ANEXO N° 6. Curvas características de la serie 50-160 bomba centrífuga Monoblock KSB.



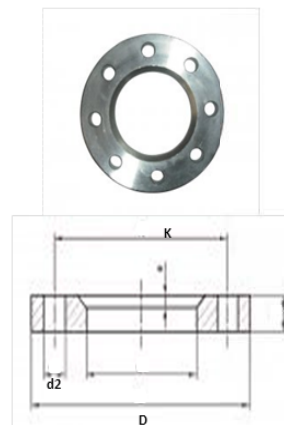
## Anexo N° 7. Bridas planas de acero del banco de turbinas Pelton-Francis.

### AQUADUCTIL S.L.

#### BRIDAS LOCAS DE ACERO P/PE

Categoría: Bridas, manguitos y collarines

- Permite hacer realizar transiciones con cualquier tipo de tubería o elemento embreado
- Presiones de trabajo PN10 y PN16
- Acero Estructural S235 (DIN St.37.2)
- Tratamiento superficial bicromado
- Se montan por termo fusión a tope o electro fusión indistintamente sobre porta bridas de polietileno.

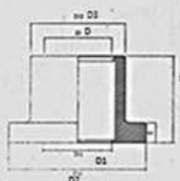
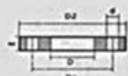


| CÓDIGO             | PN    | D   | d1  | b  | Nº taladros x Métrico |
|--------------------|-------|-----|-----|----|-----------------------|
| BRIDACER-DN50/63   | 10/16 | 165 | 78  | 16 | 4 x M16               |
| BRIDACER-DN65/63   | 10/16 | 185 | 78  | 18 | 4 x M16               |
| BRIDACER-DN65/75   | 10/16 | 185 | 92  | 18 | 4 x M16               |
| BRIDACER-DN80/90   | 10/16 | 200 | 108 | 18 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN100/110 | 10/16 | 220 | 128 | 20 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN100/125 | 10/16 | 220 | 135 | 20 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN125/125 | 10/16 | 250 | 135 | 20 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN125/140 | 10/16 | 158 | 22  | 22 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN150/160 | 10/16 | 285 | 172 | 22 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN150/180 | 10/16 | 285 | 188 | 22 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN200/200 | 10/16 | 340 | 238 | 24 | 8 x M16               |
| BRIDACER-DN250/250 | 10/16 | 395 | 288 | 26 | 12 x M24              |
| BRIDACER-DN300/315 | 10/16 | 445 | 338 | 26 | 12 x M20              |
| BRIDACER-DN300/315 | 10/16 | 460 | 338 | 26 | 12 x M24              |
| BRIDACER-DN355/355 | 10    | 460 | 376 | 28 | 16 x M24              |
| BRIDACER-DN355/355 | 16    | 505 | 376 | 30 | 16 x M24              |
| BRIDACER-DN400/400 | 10    | 564 | 430 | 32 | 16 x M24              |
| BRIDACER-DN400/400 | 16    | 580 | 430 | 32 | 16 x M27              |
| BRIDACER-DN500/500 | 10    | 670 | 533 | 38 | 20 x M24              |
| BRIDACER-DN500/500 | 16    | 715 | 533 | 38 | 20 x M30              |
| BRIDACER-DN600/630 | 10    | 780 | 648 | 40 | 20 x M27              |
| BRIDACER-DN600/630 | 16    | 840 | 648 | 40 | 20 x M33              |

BRIDAS  
LOCAS  
DE  
ACERO

## ANEXO N° 8. Catálogos de Conexiones de PVC.

PLASTIFER, S.A.



### BRIDA

| Dn  | Código | D   | DI  | DI  | d  | N°Tal. | E  |
|-----|--------|-----|-----|-----|----|--------|----|
| 90  | PB90   | 114 | 160 | 200 | 18 | 4      | 19 |
| 110 | PB110  | 134 | 180 | 220 | 18 | 8      | 22 |
| 125 | PB125  | 149 | 210 | 249 | 18 | 8      | 24 |
| 140 | PB140  | 164 | 240 | 284 | 22 | 8      | 28 |
| 160 | PB160  | 186 | 240 | 284 | 22 | 8      | 28 |
| 200 | PB200  | 236 | 295 | 340 | 22 | 8      | 30 |
| 250 | PB250  | 280 | 350 | 394 | 22 | 12     | 34 |

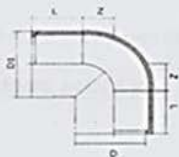
### MANGUITO PORTABRIDA

| D   | Código | DI    | D2    | D3  | L   | E  |
|-----|--------|-------|-------|-----|-----|----|
| 90  | PMB90  | 82    | 138   | 112 | 56  | 15 |
| 110 | PMB110 | 101   | 156   | 132 | 66  | 16 |
| 125 | PMB125 | 115.5 | 172.5 | 147 | 73  | 17 |
| 140 | PMB140 | 131.0 | 187   | 165 | 81  | 14 |
| 160 | PMB160 | 160.0 | 210.0 | 186 | 94  | 19 |
| 200 | PMB200 | 200   | 254   | 230 | 106 | 18 |
| 250 | PMB250 | 250   | 306   | 270 | 131 | 20 |



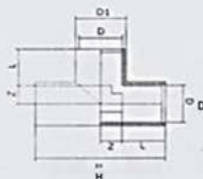
### CODO HEMBRA HEMBRA 90°

| D   | Código | DI  | L   | Z   |
|-----|--------|-----|-----|-----|
| 20  | PC20   | 25  | 17  | 11  |
| 25  | PC25   | 31  | 20  | 15  |
| 32  | PC32   | 40  | 24  | 16  |
| 40  | PC40   | 50  | 27  | 19  |
| 50  | PC50   | 63  | 32  | 26  |
| 63  | PC63   | 79  | 38  | 32  |
| 75  | PC75   | 93  | 45  | 36  |
| 90  | PC90   | 109 | 53  | 47  |
| 110 | PC110  | 130 | 61  | 58  |
| 125 | PC125  | 147 | 70  | 63  |
| 140 | PC140  | 164 | 76  | 68  |
| 160 | PC160  | 186 | 87  | 85  |
| 200 | PC200  | 228 | 107 | 102 |



### TES HEMBRA HEMBRA 90°

| D   | Código | DI  | H   | L   | Z   |
|-----|--------|-----|-----|-----|-----|
| 20  | PI20   | 25  | 56  | 17  | 11  |
| 25  | PI25   | 31  | 68  | 20  | 14  |
| 32  | PI32   | 40  | 78  | 24  | 15  |
| 40  | PI40   | 53  | 94  | 27  | 20  |
| 50  | PI50   | 64  | 114 | 32  | 25  |
| 63  | PI63   | 79  | 142 | 41  | 30  |
| 75  | PI75   | 93  | 166 | 45  | 38  |
| 90  | PI90   | 109 | 194 | 53  | 45  |
| 110 | PI110  | 130 | 236 | 61  | 51  |
| 125 | PI125  | 147 | 274 | 70  | 68  |
| 140 | PI140  | 164 | 296 | 76  | 72  |
| 160 | PI160  | 186 | 336 | 87  | 82  |
| 200 | PI200  | 228 | 414 | 107 | 100 |



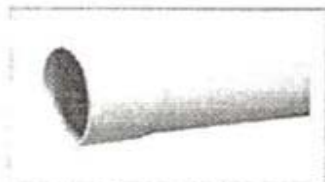
## ANEXO N° 8. Continuación.



PLASTIFER S.A.

## 5. Tubería Presión PVC

### Unión ENCOLADA



Fabricada según norma UNE EN 1452. Tubería apta para el transporte de agua a presión, enterrada o no en el exterior e interior de la estructura de los edificios, destinada al consumo humano y para usos generales.

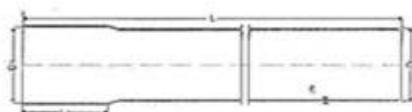
Boca lisa para unión por encolado. Color gris oscuro RAL 7011.

Presentación en tubos de 5 metros (L).

**LAS TUBERÍAS DE PVC PRESIÓN UNIÓN ENCOLADA PLASTIFER TIENEN CONCEDIDA LA MARCA AENOR DE PRODUCTO.**



| D mm | Ll mm | DI mm | D mm | Ll mm | DI mm |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 20   | 16.0  | 201   | 90   | 51.0  | 90.1  |
| 25   | 18.5  | 25.1  | 110  | 61.0  | 110.1 |
| 32   | 22.0  | 32.1  | 125  | 68.5  | 125.1 |
| 40   | 26.0  | 40.1  | 140  | 76.0  | 140.2 |
| 50   | 31.0  | 50.1  | 160  | 86.0  | 160.2 |
| 63   | 37.5  | 63.1  | 180  | 96.0  | 180.2 |
| 75   | 43.5  | 75.1  | 200  | 106.0 | 200.2 |

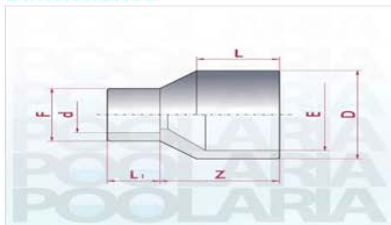


| D mm | Código  | 6 bar<br>E (mm) | Atados   | Código  | 8 bar<br>E (mm) | Atados | Código   | 10 bar<br>E (mm) | Atados   |
|------|---------|-----------------|----------|---------|-----------------|--------|----------|------------------|----------|
| 32   | --      | --              | --       | --      | --              | --     | TPN3210  | 1.6              | 20 tubos |
| 40   | TPN406  | 1.5             | 20 tubos | --      | --              | --     | TPN4010  | 1.9              | 20 tubos |
| 50   | TPN506  | 1.6             | 10 tubos | --      | --              | --     | TPN5010  | 2.4              | 10 tubos |
| 63   | TPN636  | 2.0             | 10 tubos | --      | --              | --     | TPN6310  | 3.0              | 5 tubos  |
| 75   | TPN756  | 2.3             | --       | --      | --              | --     | TPN7510  | 3.6              | --       |
| 90   | TPN906  | 2.8             | --       | --      | --              | --     | TPN9010  | 4.3              | --       |
| 110  | TPN1106 | 2.7             | --       | TPN1108 | 3.4             | --     | TPN11010 | 4.2              | --       |
| 125  | TPN1256 | 3.1             | --       | TPN1258 | 3.9             | --     | TPN12510 | 4.8              | --       |
| 140  | TPN1406 | 3.5             | --       | TPN1408 | 4.3             | --     | TPN14010 | 5.4              | --       |
| 160  | TPN1606 | 4.0             | --       | TPN1608 | 4.9             | --     | TPN16010 | 6.2              | --       |
| 180  | TPN1806 | 4.4             | --       | TPN1808 | 5.5             | --     | TPN18010 | 6.9              | --       |
| 200  | TPN2006 | 4.9             | --       | TPN2008 | 6.2             | --     | TPN20010 | 7.7              | --       |

| D mm | Código  | 12.5 bar<br>E (mm) | Atados   | Código   | 16 bar<br>E (mm) | Atados   |
|------|---------|--------------------|----------|----------|------------------|----------|
| 20   | --      | --                 | --       | TPN2016  | 1.5              | 50 tubos |
| 25   | TPN2512 | 1.5                | 50 tubos | TPN2516  | 1.9              | 20 tubos |
| 32   | TPN3212 | 1.9                | 20 tubos | TPN3216  | 2.4              | 20 tubos |
| 40   | --      | --                 | --       | TPN4016  | 3.0              | 10 tubos |
| 50   | --      | --                 | --       | TPN5016  | 3.7              | 5 tubos  |
| 63   | --      | --                 | --       | TPN6316  | 4.7              | --       |
| 75   | --      | --                 | --       | TPN7516  | 5.6              | --       |
| 90   | --      | --                 | --       | TPN9016  | 6.7              | --       |
| 110  | --      | --                 | --       | TPN11016 | 6.6              | --       |
| 125  | --      | --                 | --       | TPN12516 | 7.4              | --       |
| 140  | --      | --                 | --       | TPN14016 | 8.3              | --       |
| 160  | --      | --                 | --       | TPN16016 | 9.5              | --       |
| 180  | --      | --                 | --       | TPN18016 | 10.7             | --       |
| 200  | --      | --                 | --       | TPN20016 | 11.9             | --       |

## ANEXO N° 8. Continuación.

### Dimensiones



### Reducción cónica PVC encolar

Cepex ofrece la máxima garantía en sus accesorios de PVC para la conducción de líquidos a presión como demuestran las certificaciones de que dispone (AENOR, AFNOR, Kiwa, etc.).

| D-E x d       | Código | Referencia | DN  | PN | L   | L1  | Z   | F   |
|---------------|--------|------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 32-25 x 25    | 01974  | 05 09 032  | 20  | 16 | 22  | 19  | 30  | 33  |
| 32-25 x 20    | 01975  | 05 09 033  | 15  | 16 | 22  | 16  | 30  | 27  |
| 40-32 x 32    | 01976  | 05 09 040  | 25  | 16 | 26  | 22  | 36  | 38  |
| 40-32 x 25    | 01977  | 05 09 041  | 20  | 16 | 26  | 19  | 36  | 33  |
| 40-32 x 20    | 01978  | 05 09 042  | 15  | 16 | 26  | 16  | 36  | 27  |
| 50-40 x 40    | 01979  | 05 09 050  | 32  | 16 | 31  | 26  | 44  | 48  |
| 50-40 x 32    | 01980  | 05 09 051  | 25  | 16 | 31  | 22  | 44  | 41  |
| 50-40 x 25    | 01981  | 05 09 052  | 20  | 16 | 31  | 19  | 44  | 33  |
| 50-40 x 20    | 01982  | 05 09 053  | 15  | 16 | 31  | 16  | 44  | 27  |
| 63-50 x 50    | 01983  | 05 09 063  | 40  | 16 | 38  | 31  | 54  | 61  |
| 63-50 x 40    | 01984  | 05 09 064  | 32  | 16 | 38  | 26  | 54  | 50  |
| 63-50 x 32    | 01985  | 05 09 065  | 25  | 16 | 38  | 22  | 54  | 41  |
| 63-50 x 25    | 01986  | 05 09 066  | 20  | 16 | 38  | 19  | 54  | 33  |
| 63-50 x 20    | 01987  | 05 09 067  | 15  | 16 | 38  | 16  | 54  | 27  |
| 75-63 x 63    | 01988  | 05 09 075  | 50  | 16 | 44  | 38  | 62  | 73  |
| 75-63 x 50    | 01989  | 05 09 076  | 40  | 16 | 44  | 31  | 62  | 61  |
| 75-63 x 40    | 01990  | 05 09 077  | 32  | 16 | 44  | 26  | 62  | 50  |
| 75-63 x 32    | 01991  | 05 09 078  | 25  | 16 | 44  | 22  | 62  | 41  |
| 90-75 x 75    | 01992  | 05 09 090  | 65  | 16 | 51  | 44  | 74  | 87  |
| 90-75 x 63    | 01993  | 05 09 091  | 50  | 16 | 51  | 38  | 74  | 75  |
| 90-75 x 50    | 01994  | 05 09 092  | 40  | 16 | 51  | 31  | 74  | 61  |
| 90-75 x 40    | 01995  | 05 09 093  | 32  | 16 | 51  | 26  | 74  | 50  |
| 110-90 x 90   | 01996  | 05 09 110  | 80  | 16 | 61  | 51  | 88  | 105 |
| 110-90 x 75   | 01997  | 05 09 111  | 65  | 16 | 61  | 44  | 88  | 90  |
| 110-90 x 63   | 01998  | 05 09 112  | 50  | 16 | 61  | 38  | 88  | 75  |
| 110-90 x 50   | 01999  | 05 09 113  | 40  | 16 | 61  | 31  | 88  | 61  |
| 125-110 x 90  | 02000  | 05 09 126  | 80  | 16 | 69  | 51  | 100 | 105 |
| 125-110 x 75  | 02001  | 05 09 127  | 65  | 16 | 69  | 44  | 100 | 90  |
| 125-110 x 63  | 02002  | 05 09 128  | 50  | 16 | 69  | 38  | 100 | 75  |
| 140-125 x 110 | 02003  | 05 09 141  | 100 | 16 | 76  | 61  | 111 | 130 |
| 140-125 x 90  | 02004  | 05 09 142  | 80  | 16 | 76  | 51  | 111 | 105 |
| 140-125 x 75  | 02005  | 05 09 143  | 65  | 16 | 76  | 44  | 111 | 90  |
| 160-140 x 125 | 02006  | 05 09 161  | 110 | 10 | 86  | 69  | 126 | 148 |
| 160-140 x 110 | 02007  | 05 09 162  | 100 | 10 | 86  | 61  | 126 | 130 |
| 160-140 x 90  | 02008  | 05 09 163  | 80  | 10 | 86  | 51  | 126 | 105 |
| 200-180 x 140 | 02009  | 05 09 202  | 125 | 10 | 106 | 76  | 154 | 157 |
| 200-180 x 125 | 02010  | 05 09 203  | 110 | 10 | 106 | 69  | 154 | 148 |
| 200-180 x 110 | 02011  | 05 09 204  | 100 | 10 | 106 | 61  | 154 | 130 |
| 225-200 x 160 | 02012  | 05 09 227  | 150 | 10 | 119 | 86  | 171 | 180 |
| 225-200 x 140 | 02013  | 05 09 228  | 125 | 10 | 119 | 76  | 171 | 160 |
| 225-200 x 125 | 02014  | 05 09 229  | 110 | 10 | 119 | 69  | 171 | 148 |
| 250-225 x 200 | 02015  | 05 09 251  | 175 | 10 | 131 | 106 | 194 | 225 |
| 250-225 x 160 | 02016  | 05 09 253  | 150 | 10 | 131 | 86  | 194 | 180 |

## ANEXO N° 9. Instructivo del manómetro diferencial de mercurio

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <h1>INSTRUCTIVO DEL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE MERCURIO</h1> |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Máquina :</b> TURBINA KAPLAN                            |  |
| <b>Marca:</b><br>GILKES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Rango de trabajo :</b> 12 in Hg = 4.2 m c a = 6 psi     |  |
| <b>TARADO DEL EQUIPO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                            |  |
| <div><div>1. Asegurarse de que el <b>Mercurio (Hg)</b> del Manómetro se encuentre inicialmente en cero.</div><div>2. Asegurarse de que están cerradas las válvulas <b>Orificio 1 y Orificio .1</b>.</div><div>3. Para expulsar el aire del sistema, se deben cerrar todas las válvulas (<b>U, V y D</b>) excepto la <b>válvula E</b>.</div><div>4. Abrir lentamente las válvulas que comunican la <b>Placa Orificio</b> con el Manómetro hasta su totalidad (<b>Orificio 1 y Orificio .1</b>).</div><div>5. Abrir lentamente la <b>válvula U</b> y la <b>válvula V</b>, con la precaución de que la <b>columna de Hg, no exceda del 75%</b> de la escala. Luego cierre la <b>válvula V y la U</b>.</div><div>6. Abrir lentamente la <b>válvula D</b> y la <b>válvula V</b>, repitiendo la operación del ítem anterior.</div><div>7. Cierre la <b>válvula E</b>, abra la <b>válvula U</b> y lentamente abra la <b>válvula V</b>, permitiendo que la columna de Hg alcance el 75% de su altura total y desplace el aire contenido en el sistema. Luego cierre la <b>válvula V</b> y seguidamente la <b>válvula U</b>. Abra la <b>válvula D, V y E</b> hasta que sarga el aire. Luego cierre la <b>válvula V</b> y seguidamente cierre la <b>válvula D</b>.</div><div>8. Se repite esta operación hasta sacar el aire por completo.</div></div> |                                                            |  |
| <b>PUESTA EN SERVICIO DEL EQUIPO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                            |  |
| <div><div>1. Cierre la <b>válvula V</b> y abra la <b>válvula E</b>.</div><div>2. Abra la <b>válvula U</b>, cierre la <b>válvula E</b> y abra la <b>válvula D</b>, entonces se tendrá indicaciones de flujo en la columna de Hg.</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                            |  |
| <b>Nota:</b> es importante no dejar pasar el Mercurio hasta el final de la columna porque puede dañar las válvulas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                            |  |

## ANEXO N° 10. Recomendaciones para la Reparación de superficie corroídas.



PINTURAS Y ADHESIVOS ESPECIALES

### D-081 REVESTIMIENTO EPOXI SIN SOLVENTES

#### Descripción

Sistema epoxi de dos componentes especialmente desarrollado para hormigón, mampostería, yeso, madera y acero donde se desee una superficie impermeable, sin poros, aséptica y con excelente resistencia a la temperatura.

#### Ventajas

- Es de altos sólidos, dejando hasta 150 micrones de espesor seco por mano.
- Bajo VOC, no tiene olor ni libera solventes.
- Tiene alta resistencia a desinfectantes, biocidas, bactericidas, solventes orgánicos, ácidos y bases inorgánicas.
- Alta resistencia al impacto por su flexibilidad.
- Posee excelente resistencia en una rango de temperatura que va desde -18°C a 95°C.
- Además tiene excelente adherencia sobre sustratos que poseen revestimientos epoxis, poliuretánicos y acrílicos.
- Aplicable en hormigones lisos para aumentar la adherencia y evitar desprendimientos.
- También tiene buena resistencia química a glúcidos, sacáridos, gasoil, naftas, aceites, fuel oil, aguas hervidas.
- Buen brillo, alta adherencia, resistencia a la abrasión y excelente nivelación.

#### Campos de Aplicación

En industria alimenticia, escuelas, hospitales, interior de tanques contenedores de agua, estructuras de hierro, etc.

#### Preparación de Superficies

Superficies de Hormigón: aplicar sobre alisados de cemento. En piletas o tanques llaneados mecánicamente o con superficies muy lisas (semi brillantes) se debe arenar hasta obtener el perfil de rugosidad requerido. •

Limpiar y/o lijar si es necesario.

Superficies de Acero: para obtener un óptimo rendimiento, eliminar todo tipo de óxido y suciedad por rasqueteado, lijado o con chorro abrasivo hasta metal blanco.

Previamente aplicar fondo anticorrosivo.

#### Método de Mezcla

Agitar convenientemente los envases por separado antes de realizar la mezcla entre los componentes. Mezclar cuidadosamente en la relación de mezcla especificada en las propiedades físico-químicas hasta lograr uniformidad del color. Esperar el tiempo de inducción especificado y aplicar.

#### Forma de Aplicación

La superficie debe estar completamente limpia y seca. La temperatura del ambiente debe estar entre 5°C y 45°C. La humedad relativa del ambiente no puede superar el 80%.

Se puede aplicar con pincel, rodillo o soplete air-less.

#### Dilución según el método de aplicación

No se debe diluir

#### Propiedades Físico - Químicas

( todos los ensayos se hicieron a 20°C y 50% de humedad relativa )

Tipo de Vehículo: Epoxi - Aducto

Solventes: No contiene

Color: Blanco

Brillo: Brillante

Peso Específico 25°C: 1,22 ± 0,03kg/l

(ASTM D333)

Adherencia: 5B (Cross-Cut Test) (ASTM D3359)

Dureza: 2H (Pencil Hardness) (ASTM D3363)

Sólidos en Peso: 99 % (ASTM D2369)

Sólidos en Volumen: 96 ± 1% (ASTM D2697)

VOC: 12.2 gr / litro (ASTM D3960)

Componentes: 2 ( "A" y "B" )

Relación de Mezcla: 3 de "A" y 1 de "B" en volumen

Tiempo de Inducción: 5 minutos

Rendimiento teórico: 6.4 m<sup>2</sup>/l para 150 micrones de película seca

Vida Útil de la Mezcla: 2 horas

Secado Duro en 150 micrones de película seca: 10 horas

Período de Repintado: de 10 a 48 horas. Si la aplicación de la

siguiente mano es mayor a 48 horas, lijar levemente.

Máxima Resistencia Físico-Química: 7 días

Tiempo de Almacenamiento: 12 meses en sus envases originales correctamente cerrados.

#### Seguridad e Higiene

Producto combustible. Mantener lejos del calor o llama. Conservar en envases bien cerrados.

Evitar el contacto prolongado con la piel.

En caso de contacto lavar con abundante agua. Si

entra en contacto con los ojos, lavarlos

inmediatamente con agua y consultar al médico.

Puede causar reacción alérgica en la piel e irritación en los ojos.

## ANEXO N° 11

### VÁLVULAS DE COMPUERTA CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

**Cuerpo y Tapa:** El cuerpo ha sido construido con secciones uniformes y filetes de radios amplios que impiden la tensión en todos sus lados. El cuerpo es completamente recto, sin ningún tipo de hendiduras

excepto entre los asientos, con el fin de lograr una turbulencia, erosión y resistencia mínima frente al caudal. El perno tapa se ajusta con el asiento posterior para guiar el vástago y brindar un soporte posterior cuando la válvula se encuentre completamente abierta. El yugo se encuentra fundido con la tapa.

La junta tapa-cuerpo para las válvulas de la categoría 150 ASME es de forma ovalada y es completamente revestida. En las válvulas ASME de Categoría 300 y 600, la junta de la tapa es de forma

circular y de tipo amachimbrado. Cualquiera de los materiales de la empaquetadura se puede reemplazar de acuerdo con los requisitos del cliente.

**Cuña:** Una cuña de piezas flexibles asegura un asiento

preciso de las válvulas sobre un amplio rango de presiones y temperaturas diferenciales. Las concentraciones de tensiones se reducen a consecuencia de una cuña flexible cuya sección transversal tiene forma de H (tipo ahusado). Además, la cuña flexible se ajusta al movimiento del asiento del cuerpo.

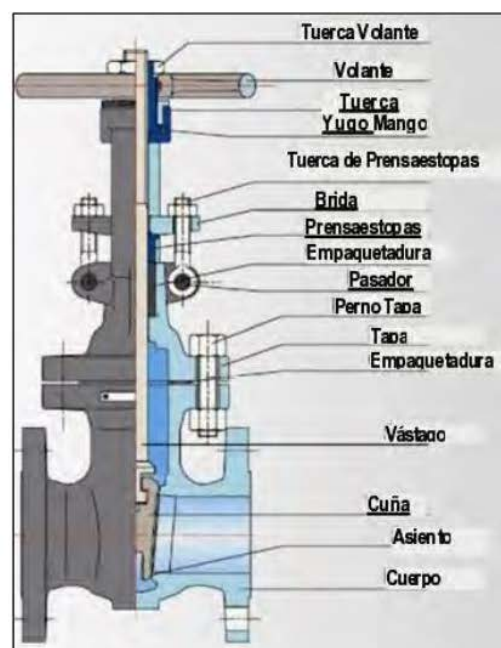
**Asiento:** Los asientos de las soldaduras de sellos se

encuentran diseñados para lograr una mínima caída de presión y evitar los daños causados por la corrosión. También las filtraciones entre el asiento y el cuerpo han sido eliminadas.

**Vástago:** El vástago posee el cabezal T engranado con la

ranura en forma de T en la cuña. Su superficie se encuentra torneada de manera precisa y lisa reduciendo la fricción y aumentando el tiempo de vida de la empaquetadura de la viga asegurando una perfecta hermeticidad. Asimismo, la viga cuenta con un reborde posterior que se ajusta con el asiento posterior en la tapa.

**Yugo:** El yugo, cuando no forma parte de la tapa, se encuentra torneado de manera exacta ajustando la



**Prensa-estopa:** La prensa-estopa se encuentra auto alineada y está compuesta de una brida prensa-estopa de forma cilíndrica. Un reborde impide que presione la empaquetadura prensa-estopa y la mantiene presionada hacia el interior de la caja de empaquetadura.

**Caja de Empaquetadura:** La caja de empaquetadura se encuentra diseñada para extender la vida de los anillos metálicos. Las válvulas de la categoría 300 y superior se encuentran equipadas con anillo de cierre hidráulico entre los anillos metálicos.

**Uniones de Extremos:** Los extremos estándar de la brida tienen un tipo de acabado dentado con resalte que cumple con la norma ASME B16.5 RF. A solicitud del cliente, las válvulas ASME de categoría 600 vienen equipadas con brida de extremos RTJ.

**Operación:** Todas las válvulas se ofrecen con volante, operado con engranajes o actuadores, (de tipo eléctrico, hidráulico o neumático), de acuerdo con los requisitos del cliente.

## ANEXO N° 12. Facturas de compas que se realizaron para la recuperación de los bancos de turbinas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>INGENIERIA DE BOMBAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |  | <b>INGENIERIA DE BOMBAS, C.A.</b><br>Zona Industrial Carabobo, Av. Norte c/c<br>8va. Transversal, C.C. Shangri-La, N° 17,<br>Valencia - Edo. Carabobo - Venezuela.<br>Telfs.: (0241) 832.80.96 - 832.78.24.<br>832.60.41 - Fax: (0241) 832.78.18<br>R.I.F.: J-07547197-0<br><a href="http://www.ingebomba.com.ve">www.ingebomba.com.ve</a> |          | <b>No. DE CONTROL</b><br><div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">00-031209</div> |                                                                                          |  |
| <b>CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CARABOBO</b><br>Rif: G-20000041-4    NIT:<br>DIRECCION: AVENIDA BOLIVAR NORTE    RECTORADO<br>TELEFONOS: 8240043<br>FACTURA AFECTA:                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                   |  | <b>FACTURA: 55641</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| COD.CLIENTE    ORDEN DE COMPRA    VENDEDOR    COND. DE PAGO    FORMA DE PAGO    EMISION    No. N/E<br>4005/2    CIHAMUC-0314    DEV01    CREDITO 1 DIAS                                                                                                                                                                                                                                    |  |                                                                                   |  | Tasa de Cambio :    0.00 Bs. x USD Dollar                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| CODIGO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | DESCRIPCION                                                                       |  | UNIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO                                                                                                     | TOTAL                                                                                    |  |
| BZF-0788/11-14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  | BOMBA DE AGUA, MOTOR 15HP-3/220/440V/1800rpm, 700GPM PZA                          |  | PZA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,00     | 273.795,71                                                                                                          | 273.795,71                                                                               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  | SERIAL. 122.113                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| 1. La factura debe ser cancelada segun tasa vigente al momento del pago, convenio # 2, gaceta oficial # 37874 del 06/02/2004<br>2. La cancelación de esta Factura será válida mediante recibo oficial de esta Compañía.<br>3. Después del vcto, cobraremos intereses de financiamiento a la tasa activa del mercado<br>4. Los motores y elementos electricos descritos no tienen garantía. |  |                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     | SUB-TOTAL Bs.    273.795,71<br>12.0 % IVA    32.855,49<br><b>TOTAL Bs.    306.651,20</b> |  |
| ELABORADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  | APROBADO                                                                          |  | DESFACHADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          | RECIBO Y ACEPTO CONFORME                                                                                            |                                                                                          |  |

INGENIERIA DE BOMBAS, C.A.  
 Todo en bombas  
 Almacén Despachado  
 Fecha 16-12-2014  
 Pagado 16-01-1918

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                                                                                     |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>INGENIERIA DE BOMBAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |  | <b>INGENIERIA DE BOMBAS, C.A.</b><br>Zona Industrial Carabobo, Av. Norte c/c<br>8va. Transversal, C.C. Shangri-La, N° 17,<br>Valencia - Edo. Carabobo - Venezuela.<br>Telfs.: (0241) 832.80.96 - 832.78.24.<br>832.60.41 - Fax: (0241) 832.78.18<br>R.I.F.: J-07547197-0<br><a href="http://www.ingebomba.com.ve">www.ingebomba.com.ve</a> |          | <b>No. DE CONTROL</b><br><div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">00-031206</div> |                                                                                          |  |
| <b>CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CARABOBO</b><br>Rif: G-20000041-4    NIT:<br>DIRECCION: AVENIDA BOLIVAR NORTE    RECTORADO<br>TELEFONOS: 8240043<br>FACTURA AFECTA:                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                     |  | <b>FACTURA: 55638</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| COD.CLIENTE    ORDEN DE COMPRA    VENDEDOR    COND. DE PAGO    FORMA DE PAGO    EMISION    No. N/E<br>4005/2    CIHAMUC-01-14    OFC01    CREDITO 2 DIAS                                                                                                                                                                                                                                   |  |                                                                                     |  | Tasa de Cambio :    0.00 Bs. x USD Dollar                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| CODIGO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | DESCRIPCION                                                                         |  | UNIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO                                                                                                     | TOTAL                                                                                    |  |
| BZF-0706/7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | BOMBA AZF 50-200A 15HP 3f 230/460 BRIDADA                                           |  | PZA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,00     | 149.775,00                                                                                                          | 149.775,00                                                                               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  | SERIAL. 130.822                                                                     |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     |                                                                                          |  |
| 1. La factura debe ser cancelada segun tasa vigente al momento del pago, convenio # 2, gaceta oficial # 37874 del 06/02/2004<br>2. La cancelación de esta Factura será válida mediante recibo oficial de esta Compañía.<br>3. Después del vcto, cobraremos intereses de financiamiento a la tasa activa del mercado<br>4. Los motores y elementos electricos descritos no tienen garantía. |  |                                                                                     |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                                                                                                                     | SUB-TOTAL Bs.    149.775,00<br>12.0 % IVA    17.973,00<br><b>TOTAL Bs.    167.748,00</b> |  |
| ELABORADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  | APROBADO                                                                            |  | DESFACHADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          | RECIBO Y ACEPTO CONFORME                                                                                            |                                                                                          |  |

INGENIERIA DE BOMBAS, C.A.  
 Todo en bombas  
 Almacén Despachado  
 Fecha 16-12-2014  
 Pagado 16-01-1918





**REDEMA SUPLIDORA ELECTRICA C.A.**  
CONGLOMERADO IND. LA QUIZANDA CALLE 90 N° 70-240, GALPON N° 6  
PROLONGACION AV. MICHELENA, EDIF. REDEMA  
TELF.: (0241) 8334119 MASTER; FAX: (0241) 8348560  
VALENCIA - VENEZUELA

RIF.: J-07519543-4

SEÑOR(ES): UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
DOMICILIO FISCAL: AV. BOLIVAR NORTE, No. 159-39  
TELEFONO: (0241) 8666819. SECTOR RECTORADO  
RIF.: G-20000041-4 VALENCIA  
NIT.: 0000000000 CARABOBO

CODIGO:  
4689

FACTURA No: 052240

FECHA DE: 26-03-2015  
EMISION

| NOTA DE DESPACHO | ORDEN DE COMPRA       | FORMA DE PAGO | TRANSPORTE | VENDEDOR        | ZONA    | TIPO         |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|-----------------|---------|--------------|
| UC-03-15         | OTRO                  | PROPIO.       | 51-49      | 31              | E       |              |
| RENG.            | DESCRIPCION           | CODIGO        | CANTIDAD   | PRECIO UNITARIO | DESCTO. | IMPORTE NETO |
| 1                | TABLERO NAB 412 L EMP | 11-14-026     | 1          | 28.941.65       |         | 28.941.65    |

NOTA: \* Factura calculada a Bs. 11,30 , por US dolar. Esta factura, sera recalculada a la tasa de cambio del dia anterior a la fecha de cancelacion.  
\* Se cobraran Bs. 15,00 por cada cheque devuelto.  
\* De no ser canceladas las facturas a su vencimiento, se cobraran intereses de mora y gastos de administracion y cobranzas.  
\* Sobre todas las DEVOLUCIONES autorizadas por la Gerencia, se cobrara el 5% por concepto de administracion, manejo y almacenaje.

FORMA LIBRE  
N° DE CONTROL:

SUB TOTAL Bs.: 28.941.65  
I.V.A. 12 %: 3.473.00  
TOTAL Bs.: 32.414.65



**MATERIALES ELECTRICOS, LINEA DE CONTROL**

Calle Prolongación Michelena, Parcela V-3, Local C.C. Myora Nro. 3 Urb. Industrial Carabobo.  
Valencia Edo. Carabobo. - Telfs.: 0241 - 817.94.96 - 832.80.06 - FAX: 0241 - 832.79.18  
Email: c.matelects@gmail.com - matelects.ventas@gmail.com



**FORMA LIBRE N° CONTROL**

**00-0003512**

RIF.: J-29988758-7

Cliente: UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
Dirección: AV. BOLIVAR NORTE SECTOR RECTORADO 159-39 MUNICIPIO VALENCIA  
EDO. CARABOBO  
Rif: G-20000041-4  
Telefono: 6005000  
Vendedor: GERENCIA 1

FACTURA  
00003146  
Fecha: 20/03/2015  
Vence: 23/03/2015  
Hora: 09:25 a.m.

| Código     | Descripción         | Cantidad | Precio Unitario | Total    |
|------------|---------------------|----------|-----------------|----------|
| 020-01-016 | TUBO FLUOR. T12.40W | 20       | 323,00          | 6.460,00 |
| 049-09-001 | TOMA 2P+T 270       | 10       | 152,50          | 1.525,00 |

Favor Emitir Cheque a nombre de MATELECTS, C.A.

Depositar en Cta Corriente 0121 0223 28 0012035350 Banco CORPEANCA

Depositar en Cta Corriente 0108 0071 42 0100771729 Banco PROVINCIAL

A favor de MATELECTS, C.A.

Por cheque devuelto generara un monto de Bs. 60,00 por gastos administrativos

Total Neto: 7.985,00  
I.V.A.: 12,00 % 958,20  
Total Operación: 8.943,20

ORDEN DE COMPRA: CIHAMUC-07-15

RIF: J-07510628-8



MATERIALES ELÉCTRICOS VALENCIA, C.A.

AV. NORTE 1, C.C. TATI, NIVEL P.B. - LOCALES 1, 2 Y 3  
URB. INDUSTRIAL CARABOBO, VALENCIA - EDO. CARABOBO  
TELF.S.: (+580241) 834.41.22 - 834.38.08 - 834.34.71 - 832.47.30 - 833.15.24  
FAX: (+580241) 833.83.04  
MASTER: 0-500-CABLES1 (2225371)

FORMA LIBRE  
No. DE CONTROL

00-209661

www.meval.com

SEÑOR (ES)

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

R.I.F.G-20000041-4

TELF.: ANDREINA GRANADO 0414-3419392

AV. BOLIVAR NORTE N. 159-39 SECTOR RECTORADO VALENCIA EDO.

| FECHA      | ORDEN DE COMPRA | CLIENTE N° | CONDICIONES DE PAGO | VENDEDOR |
|------------|-----------------|------------|---------------------|----------|
| 19/03/2015 |                 | 6200000414 | CR 1 DIA            | FLR      |

DOCUMENTO FACTURA N° 978753

| REN° | CODIGO       | CANTIDAD | UNID. | ALM. | DESCRIPCION                                       | PRECIO UNITARIO | TOTAL    |
|------|--------------|----------|-------|------|---------------------------------------------------|-----------------|----------|
| 1    | B01-018-0178 | 1        | PZA.  | 01   | CAJA D/FONDO PT25-5070 10 X 20 X 28" VEN ELECTRIC | 9,894.00        | 9,894.00 |
| 2    | F40-000-0135 | 4        | PZA.  | 01   | SOCATE PLAFON PORCELANA 4" E27 BLANCO             | 71.43           | 285.72   |
| 3    | F83-169-0101 | 2        | PZA.  | 01   | INTERRUPTOR VIMAR 06000 1P 10 AX. BLOCK           | 66.51           | 133.02   |
| 4    | A13-175-0102 | 5        | PZA.  | 01   | TUBO PVC TIPO PAVCO 3/4" X 3 MTS. BLANCA          | 73.71           | 368.55   |

NOTA DE ENTREGA:

AUTORIZADO POR

REVISADO POR

Forma de Pago: Otros (CREDITO)

- Emitir cheque NO ENDOSABLE a nombre de MATERIALES ELECTRICOS VALENCIA, C.A.  
- Este Documento devengará el 1 % mensual de intereses moratorios.  
- Para todos los efectos legales que derivan de este Documento se elige como domicilio  
especial, la ciudad de Valencia.  
- La mercancía viaja por cuenta y riesgo del comprador.  
**NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES.**

RECIBI - CONFORME / FIRMA Y SELLO

Impreso por: Impresora Técnica del Centro, S.A. RIF: J-07522779-4 - N° Providencia: SENIAT/10/00264 de fecha 19-02-2008  
Región Central / No. de Control Desde el N° 00-208.126 Hasta el N° 00-212.125 - Fecha de Elaboración: 05-06-2014

ORIGINAL - CLIENTE

SUB - TOTAL 10,681.29  
12.00 % I.V.A. 1,281.75  
TOTAL Bs. 11,963.04

SENIAT

RIF: J-317412966

FER-K-RUEDA, C.A.

AV. MICHELENA CC DIAMANT NIVEL PB

LOCAL 22 ZI CARABOBO

TELF: 0241-814.94.18

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CARABOBO

RIF: G-20000041-4

DIRECCION: AV BOLIVAR NORTE 159-39 RECTO

ADO VALENCIA EDO CARABOBO

Teléfonos: 0241-8217140

FACTURA

FACTURA: 00023561

FECHA: 20-03-2015 HORA: 09:33

| CANT. | DESCRIPCION                     | CANT. | PREC. U B. | SUBTL B. |
|-------|---------------------------------|-------|------------|----------|
| 2     | RUEDA TW GIRATORIA 10"          | 12,00 | 1.066,96   | 2.133,92 |
| 2     | RUEDA TW FIJA 10"               | 12,00 | 1.500,00   | 3.000,00 |
| 4     | RUEDA NYLON 2" GIRATORIA GRUESA | 12,00 | 325,89     | 1.303,56 |

BI G (12,00%)

Bs 6.437,48

IVA G (12,00%)

Bs 772,50

GRACIAS POR SU COMPRA...

TOTAL

Bs 7.209,98

TARJETA 1

Bs 7.209,98

MH

Z4A8083926



## Eléctricos GABARMI C.A.

RIF: J-40225130-0

Cédula o RIF: **G-20000041-4**  
Razón Social: **UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
Domicilio Fiscal: **AV BOLIVAR NORTE N-159-39 SECTOR RECTORADO VALENCIA EDO CARABOBO**  
Teléfono: **0241-8666819**  
Vendedor: **JESUS CLARK**

**ELECTRICOS GABARMI, C.A.**  
Av. Norte 1 C/C 7ma. Transversal C.C. Diamante II  
Nivel S/N Local 1, Urb. Industrial Carabobo, Valencia - Venezuela  
Telfs.: (0241) 832.01.73 / 832.13.58, Fax: (0241) 832.04.12  
e-mail: electricosgabarmi@gmail.com  
RIF: J-40225130-0

**FACTURA # 00002173**  
Fecha: 19/03/2015  
Vence: 19/03/2015

Cond. Pago -> Crédito 0 Dias  
Doc. Origen -> PED:00002225/

| Código   | Cant. | UNO | Descripción                      | Referencia | Precio Unitario | Total    |
|----------|-------|-----|----------------------------------|------------|-----------------|----------|
| 08008002 | 6     | PZA | INTERRUPTOR DOBLE BEIGE VENCOLUX | INT-011    | 210,00          | 1.260,00 |
| 12001001 | 3     | RLL | TEIPE COBRA 3/4 X 18MTS          | TEI-01     | 155,00          | 465,00   |

**Forma de Pago**

Efectivo: 0,00    Otra: 1.725,00  
T. Débito: 0,00  
Cheque: 0,00

Son: UN MIL NOVECIENTOS TREINTA Y DOS CON 00/100

Total Bruto: 1.725,00  
Flete: 0,00  
Total Neto: 1.725,00  
I.V.A. 12,00%: 207,00  
Total Operación: 1.932,00

Pagos realizados en Cheque, Depósito o Transferencia a nombre de: **ELECTRICOS GABARMI, C.A.**  
**En la siguiente Cta. Cte. BANESCO #0134-0890-43-8901012868**

ELABORADO POR: C.A. Data Form Industrial DAFONCA / RIF.: 24755899-8 / No. Provisión: SENAT/10/00015 DE FECHA 22-01-2008 / Nº DE CONTROL DESDE EL Nº 00-00000001 HASTA EL Nº 00-00000000 / FECHA 18-06-2014  
REGION CENTRAL, DIRECCION FISCAL URB. INDUSTRIAL CASTILLO - CALLE 89 ENTRE AV. 88 Y 86 - PARCELA 1-48 - VALENCIA - TELEFONOS: (0241) 8713348 - 8713358 - FAX: (0241) 8713380 / E-mail: dataform@dataform.net

FORMA LIBRE Nº DE CONTROL **00-00002199**



## ROJAS COMPONENTES Y VÁLVULAS C.A.

**Prolongación Av. Michelena, Zona Industrial Carabobo**  
**C.C. Ara Nave G, Local 80-A-06**  
**Celular: 0416-230.23.49 - Fax: (0241) 833.16.85 - 833.90.13**  
**Valencia, Estado Carabobo**  
**E-Mail: rocompvalca@hotmail.com**  
**RIF: J-31484301-0**

**Nº DE CONTROL 00-07018**

**Lugar de Emisión**  
VALENCIA

**DÍA** 19 **MES** 03 **AÑO** 2015

**FACTURA Nº 08118**

|                                                                                                  |                                            |                          |                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:</b> UNIVERSIDAD DE CARABOBO                                            |                                            | <b>RIF:</b> G-20000041-4 |                                     |
| <b>DOMICILIO FISCAL:</b> AVDA. BOLIVAR NORTE SECTOR RECTORADO No. 159-39 VALENCIA EDO. CARABOBO. |                                            |                          |                                     |
| <b>TELÉFONOS:</b> 0241-6005000                                                                   | <b>NOTA DE ENTREGA / GUÍA DE DESPACHO:</b> |                          | <b>CONDICIONES DE PAGO:</b> CONTADO |
| <b>No DE CLIENTE:</b>                                                                            | <b>ORDEN DE COMPRA:</b> CHAMU-C-02-15      |                          | <b>TRANSPORTE:</b>                  |

| No. | CONCEPTO O DESCRIPCIÓN                                                                                  | CANT. | P. UNITARIO | TOTAL    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|----------|
| 1   | MANOVACUOMETRO DIAL 2.1/2" X 1/4" NPT, CONEXIÓN BAJA DE -30 A 0 INHG (VACIO) +30 - 30 PSI CON GLICERINA | 3     | 2.800,00    | 8.400,00 |
| 2   | MANOMETROS DIAL 2.1/2" X 1/4" NPT, CONEXIÓN BAJA DE 0-15 PSI, CON GLICERINA                             | 4     | 1.800,00    | 7.200,00 |

NOTA: CUENTA CORRIENTE No. 0105-0060-51-1060378205 BANCO MERCANTIL.

|                                             |  |                                |  |
|---------------------------------------------|--|--------------------------------|--|
| <b>Total a Pagar</b><br>Expresado en Letras |  | <b>SUB-TOTAL Bs.</b> 15.600,00 |  |
| <b>Otros / Ajustes</b>                      |  |                                |  |
| <b>TOTAL BASE IMPONIBLE</b>                 |  | 15.600,00                      |  |
| <b>I.V.A. 12 % Bs.</b>                      |  | 1.872,00                       |  |
| <b>TOTAL A PAGAR Bs.</b>                    |  | 17.472,00                      |  |

**FORMA DE PAGO:**  
Pagado en: ☐ Efectivo ☐ Tarjeta de Débito ☐ Tarjeta de Crédito No.  
☐ Cheque No.: Banco:

IMPRESO POR: TIPOGRAFIA CARABOBO, C.A., C.C. ARA, AV. MICHELENA - VALENCIA - EDO. CARABOBO.  
TELFs.: (0241) 864.12.22 / 864.12.99 - RIF: J-07510067-5. AUTORIZADO POR PROVIDENCIA Nº SENAT/10/00535  
DE FECHA 13/03/2008 REGION CENTRAL. ORIGINAL BLANCA - Copia a color sin derecho a crédito fiscal

FACTURA DESDE EL Nº 07551 HASTA EL Nº 08550  
Nº DE CONTROL DESDE EL Nº 00-08451 HASTA EL Nº 00-07450  
IMPRESAS EL 12-08-2015

# SUMINISTROS ATLAS C.A.

Av. Prolong. Michelena, C.C. Atlas Nivel Mod. A, Local 10-A y 11-A  
Zona Industrial Carabobo - Valencia Edo. Carabobo  
Zona Postal 2003 Telfs.: Master (0241) 814.02.02 - (0241) 814.02.66 - 514.03.22  
Fax: (0241) 833.29.13 / e-mail: sumatlas@cantv.net  
R.I.F.: J - 07571859 - 3

**POLITICA DE LA CALIDAD**  
Ser el Proveedor de Confianza, en Servicios y Productos que Satisfagan las Expectativas de los Clientes; con la Participación de Nuestros Recursos Humanos.

**FORMA LIBRE  
Nº. DE CONTROL**

00- 084306

Factura: 272680

NOMBRE Y APELLIDO O RAZÓN SOCIAL:

UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
Av. Bolívar Norte # 159-39 Rectorado, Valencia Edo. Carabobo

O / G No.

CLIENTE

FECHA

U0005

20-03-2015

0241-6004132- 6004130 6004132

N.I.T. FAX:

N.I.T.: 0071412628

VENDEDOR

11

No. DE ENTREGA

CONDICIONES

CREDITO 5

VENCIMIENTO

25-03-2015

| CODIGO                                                                                                                                         | CANTIDAD | DESCRIPCION                              | P. UNITARIO Bs.   | IMPORTE Bs.       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| BQUIP00PA400                                                                                                                                   | 1.0      | PINZA AMP. 400 AC/600VAC/DC CAT PA400    | 2,857.14          | 2,857.14          |
| BRHQC0003050                                                                                                                                   | 3.0      | BREAKER HQC 3 X 50 AMP 240 VAC           | 1,795.00          | 5,385.00          |
| BRHQC0003070                                                                                                                                   | 3.0      | BREAKER HQC 3 X 70 AMP 240 VAC           | 2,200.00          | 6,600.00          |
| BRHQC0003100                                                                                                                                   | 2.0      | BREAKER FD 3 X 100 AMP                   | 21,200.00         | 42,400.00         |
| CAJAL2NL-L-E                                                                                                                                   | 2.0      | CAJA P/CHASIS NLAS DE 12 CIRC 3/PPAL-EMB | 4,625.64          | 9,251.28          |
| PUSL2NL-L-E                                                                                                                                    | 2.0      | PUERTA P/CAJA NLAS DE 12CIRC. 3/PPAL EMB | 3,499.36          | 6,998.72          |
| CHASL412L                                                                                                                                      | 2.0      | CHASIS TIPO NLAS 412 3/PPAL (SEC. HQC)   | 8,125.00          | 16,250.00         |
| CABLETHW012S                                                                                                                                   | 300.0    | CABLE THW # 12 BLANCO                    | 31.25             | 9,375.00          |
| SALASL240120                                                                                                                                   | 10.0     | SALASTO ELECT. 2 X 40 120 V T12          | 600.00            | 6,000.00          |
| CABLETHW009AW                                                                                                                                  | 100.0    | CABLE THW # 4 NEGRO                      | 236.61            | 23,660.71         |
| LA CANCELACION DE ESTE DOCUMENTO<br>SOLO SE HARA EFECTIVA UNICA<br>Y EXCLUSIVAMENTE A TRAVES<br>DE UN RECIBO DE PAGO EMITIDA<br>POR LA EMPRESA |          |                                          | Sub-Total:        | 129,777.85        |
| Forma Pago:                                                                                                                                    |          |                                          | % Desc.:          | 0.00              |
| CIENTO CUARENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS                                                                                                        |          |                                          | Base Imp.:        | 129,777.85        |
| TREINTA Y UNO CON 19/100 Bs.F.                                                                                                                 |          |                                          | Total Exonerado:  | 0.00              |
| I.V.A.: 12.00 %                                                                                                                                |          |                                          | Sobre: 129,777.85 | 15,453.34         |
|                                                                                                                                                |          |                                          | <b>TOTAL Bs.</b>  | <b>144,231.19</b> |

SON CONDICIONES SOLO EN CASO DE FACTURA:

- FAVOR EMITIR CHEQUE A NOMBRE DE SUMINISTROS ATLAS, C.A.
- ESTA FACTURA DEVENGARA INTERESES MORATORIOS MENSUAL A LA TASA DEL MERCADO.
- NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES NI RECLAMOS POR FALTANTE EN LA MERCANCIA UNA VEZ ENTREGADA LA MISMA.
- LA MERCANCIA VIAJA POR CUENTA Y RIESGO DEL CLIENTE.
- COMISION POR CHEQUES DEVUELTOS Bs.F. 40 DE GASTOS ADMINISTRATIVOS
- PARA TODOS LOS EFECTOS RELACIONADOS CON ESTA NEGOCIACION SE TENDRA EN CUENTA LAS CONDICIONES GENERALES DE VENTA INDICADAS AL DORSO.
- ESTA FORMA LIBRE VA SIN TACHADURA NI ENMENDATURA

ELABORADO POR: C.A. Data Form Industrial DAFOINCA / RIF: J-07556959-8 / Nro. Provisoria: SENIAT/10/00015 DE FECHA 22-01-2008 / Nº DE CONTROL DESDE EL Nº 00-072601 HASTA EL Nº 00-088000 / FECHA 03-04-2014  
REGION CENTRAL. DIRECCION FISCAL: URB. INDUSTRIAL CASTILLITO - CALLE 99 ENTRE AV. 68 Y 66 - PARCELA L-46 - VALENCIA - TELEFONOS: (0241) 8715368 - 8715836 - FAX: (0241) 8715080 / E-mail: dafoinca@cantv.net

ORIGINAL CLIENTE

RECIBI CONFORME (FIRMA Y SELLO)



**J. Brazzoduro c.a.**

MAQUINARIAS • HERRAMIENTAS • FERRUTERIA

OFICINA PRINCIPAL BARQUISIMETO  
C/4 Esquina Calle 25 Multiservicios COMIBAR | Local Nro. 5  
Zona Industrial | Barquisimeto - Edo. Lara - Venezuela  
Telfs.: (0251) 2376119 - 2372734  
Telefax: 2373051

SUCURSAL VALENCIA  
Avenida Norte 1 con Avenida Michelena  
C.C. Las Industrias, Locales 12 al 14.  
Valencia - Edo. Carabobo  
Telfs.: (0241) 8323131 - 8344530.  
Fax: (0241) 8325270

Nro. DE CONTROL 00- 0074759  
FACTURA B-00046787

LUGAR Y FECHA: VALENCIA, 25 / 05 / 2015  
COD.CLIENTE O.DE COMPRA COD.VEND.  
V-0573 CHAMUC-3815 OF

NOMBRE Y APELLIDO

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

RIF: G-200000414

O RAZÓN SOCIAL:

DOMICILIO FISCAL: Av. Bolívar Norte Nro. No. 159-39. Sector Rectorado, Valencia, Edo. Carabobo

TELEFONOS: 0241-8668819

VENCE: 31 / 05 / 2015

ORDEN DE ENTREGA / GUIA DE DESPACHO No.:

CONDICION DE PAGO:

CONTADO

| CODIGO      | DESCRIPCION                             | CANT. | PRECIO UNIT. | IMPORTE | ALICUOTA |
|-------------|-----------------------------------------|-------|--------------|---------|----------|
| 4030-240164 | ELECTRODO GRICON 33 E-8013 1/8" LINCOLN | 2     | 1200.00      | 2400.00 | 12 %     |
| 7607-270    | CEPILLO MANUAL 4x10 HILERA MMADERA      | 2     | 550.00       | 1100.00 | 12 %     |
| 7609-127401 | BROCHA 4" CERDEX                        | 2     | 650.00       | 1300.00 | 12 %     |
| 2148-14*    | MECHA 14" HSS HELLER                    | 2     | 1330.00      | 2660.00 | 12 %     |
| 7461002     | MASCARILLA ANTIPOLVO DESECHABLE         | 50    | 9.50         | 475.00  | 12 %     |

Milutoyo

URREA

TIMPERO

EXENTO: 0.00

BASE IMPONIBLE: 7,935.00

BASE: 7,935.00 IVA 12%: 952.20

TOTAL A PAGAR: 8,887.20

OCHO MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SIETE con 20/100

Forma de Pago: Efectivo Cheque Transf. Tarjeta

NOMBRE:

C.I.:

FIRMA - SELLO

FIRMA:

NOMBRE:

MILENA GARABAN

CORPORACION BOBINAS Y ROLLOS C.A. RIF: J-31151599 - 2. Av. Principal Las Canteras del Este Macaracuay S/N, P.B. Caracas, Edo. Miranda Telfs.: 258.00.68/10.27/17.19  
Número de Provisoria: SENIAT-01-00683 el 01-04-2008 - Forma Libre - Números de Control desde el Nº 00-0060301 hasta el Nº 00-0080300 - Fecha: 13-07-2011  
ORIGINAL - CLIENTE

MEVAL  
MATERIALES ELÉCTRICOS VALENCIA, C.A.

AV. NORTE 1, C.C. TATI, NIVEL P.B. - LOCALES 1, 2 Y 3  
URB. INDUSTRIAL CARABOBO, VALENCIA - EDO. CARABOBO  
TELF.: (+580241) 834.41.22 - 834.38.08 - 834.34.71 - 832.47.30 - 833.15.24  
FAX: (+580241) 833.83.04  
MASTER: 0-500-CABLES1 (2225371)  
www.meval.com

FORMA LIBRE  
No. DE CONTROL  
00-212348

SEÑOR (ES)  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
R.I.F.B-20000041-4 TELF.: ANDREINA GRANADO 0414-3419392  
AV. BOLIVAR NORTE N. 159-39 SECTOR RECTORADO VALENCIA EDO.

FECHA: 25/05/2015  
ORDEN DE COMPRA:  
CLIENTE N°: 6200000414  
CONDICIONES DE PAGO: CR 1 DIA  
VENDEDOR: ADF

DOCUMENTO: FACTURA N° 981368

| RENG. | CODIGO       | CANTIDAD | UNID. | ALM. | DESCRIPCION                                                | PRECIO UNITARIO | TOTAL    |
|-------|--------------|----------|-------|------|------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
| 1     | A13-176-0104 | 4        | PZA.  | 01   | TUBO PVC TIPO PAVCO 1 1/2" X 3 MTS. BLANCA                 | 128.57          | 514.28   |
| 2     | A13-176-0204 | 4        | PZA.  | 01   | CURVA PAVCO 1.1/2" BLANCA                                  | 91.71           | 366.84   |
| 3     | A55-000-0105 | 20       | PZA.  | 01   | ABRAZADERA EMT 1.1/2" 05E04                                | 13.62           | 270.40   |
| 4     | A49-000-0102 | 6        | PZA.  | 01   | CAJETIN RECTANGULAR RIO DOVO 2"X 4"X 3/4"                  | 45.29           | 277.74   |
| 5     | G10-001-0504 | 100      | MTS   | 01   | CABLE PHELPS-DODGE THHW ALUMINIO 90°C 4 AWG 7/H 600V NEGRO | 77.55           | 7,755.00 |
| 6     | G55-108-0102 | 6        | PZA.  | 01   | CONECTOR BURNDY BIMETALICO KSU-25 #2 AL 1/0                | 671.29          | 4,027.74 |
| 7     | A55-000-0103 | 20       | PZA.  | 01   | ABRAZADERA EMT 1" 05E03                                    | 6.76            | 135.20   |
| 8     | A13-176-0102 | 15       | PZA.  | 01   | TUBO PVC TIPO PAVCO 3/4" X 3 MTS. BLANCA                   | 73.71           | 1,105.65 |
| 9     | A13-176-0103 | 4        | PZA.  | 01   | TUBO PVC TIPO PAVCO 1" X 3 MTS. BLANCA                     | 93.43           | 373.72   |

NOTA DE ENTREGA:

AUTORIZADO POR: REVISADO POR: Forma de Pago: Otros (CREDITO)

RECIBI - CONFORME / FIRMA Y SELLO

Impreso por: Impresora Técnica del Centro, S.A. RIF: J-07522779-4 - N° Providencia: SENIAT/10/00264 de fecha 19-02-2008  
Región Central / No. de Control Desde el N° 00-212 125 Hasta el N° 00-232 125 Fecha de Emisión: 12-11-2014

SUB - TOTAL 14,824.57  
I.V.A. 1,779.19  
TOTAL Bs. 16,603.76

MEVAL  
MATERIALES ELÉCTRICOS VALENCIA, C.A.

AV. NORTE 1, C.C. TATI, NIVEL P.B. - LOCALES 1, 2 Y 3  
URB. INDUSTRIAL CARABOBO, VALENCIA - EDO. CARABOBO  
TELF.: (+580241) 834.41.22 - 834.38.08 - 834.34.71 - 832.47.30 - 833.15.24  
FAX: (+580241) 833.83.04  
MASTER: 0-500-CABLES1 (2225371)  
www.meval.com

FORMA LIBRE  
No. DE CONTROL  
00-212349

SEÑOR (ES)  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
R.I.F.B-20000041-4 TELF.: ANDREINA GRANADO 0414-3419392  
AV. BOLIVAR NORTE N. 159-39 SECTOR RECTORADO VALENCIA EDO.

FECHA: 25/05/2015  
ORDEN DE COMPRA:  
CLIENTE N°: 6200000414  
CONDICIONES DE PAGO: CR 1 DIA  
VENDEDOR: ADF

DOCUMENTO: FACTURA N° 981370

| RENG. | CODIGO       | CANTIDAD | UNID. | ALM. | DESCRIPCION                                             | PRECIO UNITARIO | TOTAL     |
|-------|--------------|----------|-------|------|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
| 1     | K01-011-0104 | 8        | PZA.  | 01   | CINTA AISLANTE 3M SCOTCH 23 3/4"X30" VE-0000-3355-9     | 2,300.00        | 18,400.00 |
| 2     | A13-176-0203 | 6        | PZA.  | 01   | CURVA PAVCO 1" BLANCA                                   | 35.71           | 214.26    |
| 3     | A55-000-0102 | 40       | PZA.  | 01   | ABRAZADERA EMT 3/4" 05E02                               | 3.66            | 146.40    |
| 4     | F14-007-0105 | 10       | PZA.  | 01   | DOBLE INTERRUPTOR BTICINO P1200 DE UNA VIA DOMINO AVANT | 85.23           | 852.30    |
| 5     | A55-000-0103 | 20       | PZA.  | 01   | ABRAZADERA EMT 1" 05E03                                 | 6.76            | 135.20    |

NOTA DE ENTREGA:

AUTORIZADO POR: REVISADO POR: Forma de Pago: Otros (CREDITO)

RECIBI - CONFORME / FIRMA Y SELLO

Impreso por: Impresora Técnica del Centro, S.A. RIF: J-07522779-4 - N° Providencia: SENIAT/10/00264 de fecha 19-02-2008  
Región Central / No. de Control Desde el N° 00-212 125 Hasta el N° 00-232 125 Fecha de Emisión: 12-11-2014

SUB - TOTAL 19,756.16  
I.V.A. 2,370.74  
TOTAL Bs. 22,126.90

**SENAT**  
**FERRROCERAMICA VALCRO C.A.**  
RIF: J-30974689-8  
Autopista Valencia- Campo Carabobo Sector El Socorro, Galpn N B-17  
Valencia, Edo. Carabobo  
Telf: (0241) 835.38.78

FECHA: 06/05/2015 HORA: 11:24FACTURA # 00011022

**DATOS DEL CLIENTE**  
RAZON SOCIAL: UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
RIF/Ci: G200000414

| Ant          | Description                                  | Precio  | Importe        |
|--------------|----------------------------------------------|---------|----------------|
| 4            | 200201015-TUBRICA BUJE SOLD AF 34" X 12" (0) | 8,47    | 33,88          |
| 6            | 200301044-TUBRICA ADAPT MACHO AF 34" (0)     | 12,71   | 76,26          |
| 8            | 360301079-FINT COLONIAL BLANCO INTENSO (00)  | 541,67  | 4333,36        |
| 2            | 100201160-RAMPLUG PLAST AZUL 516 PQR 100(0)  | 179,12  | 358,24         |
| 2            | 360401014-BROCHA CEREA HOGAR 3" (0)          | 149,90  | 299,80         |
| 1            | 020101086-BELL POWER MANGUERA NIVEL 12" (0)  | 3674,29 | 3674,29        |
| BT 5 12,00%  |                                              |         | 8775,83        |
| IVA G 12,00% |                                              |         | 1053,10        |
| <b>TOTAL</b> |                                              |         | <b>5623,93</b> |

Dir: AVENIDA BOLIVAR NORTE N 159 39 SECT  
OR RECTORADO VALENCIA EDO CARABOBO  
Telefono: 02418216104  
Numeros 2104664  
CAJA: CA - CAJA11

Documento Emitido por cuenta de terceros  
Muchas Gracias por su visita

E000017961

**MATELEC C.A.**  
MATERIALES ELECTRICOS

Suministros Industriales Eléctricos, Motores, Bombas, Contactores, Breaker, Equipos Hidroneumáticos  
Fabricación y Distribución de Tableros Eléctricos, Diseños, Montajes e Instrumentación

Av. Prolongación Av. Michelena Local ARA Nro. Nave G  
Zona Industrial Carabobo, Valencia - Edo. Carabobo  
Telefax: (0241) 8347118 - 8342751 - 8325792 - 8388194  
E-mail: matelec.ca@gmail.com Zona Postal 2003  
RIF: J-07558182-2

**FORMA LIBRE**  
**Nº DE CONTROL:**  
**00-0014681**

**NOMBRE Y APELLIDO O RAZON SOCIAL:**  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO.  
AV. BOLIVAR NORTE N°159-39  
SECTOR RECTORADO  
VALENCIA EDO. CARABOBO

**FACTURA Nro.: 46593**

FECHA EMISION: 25-05-2015 O/C: CIH/MUC-39-15 CONDICION DE PAGO \* CONTADO \*

RIF: G200000414 8 8000001 0046593 N/E:

| DESCRIPCION                     | CANTIDAD | PRECIO UNIT. | IMPORTE Bs.     |
|---------------------------------|----------|--------------|-----------------|
| LIMPIADOR ELECTRONICO AQ 235 ML | 2,00     | 980,00       | 1,960,00        |
| CAJETIN HEXAGONAL DE 4X4X3/4    | 4,00     | 125,00       | 500,00          |
| <b>SUB-TOTAL:</b>               |          |              | <b>2,460,00</b> |
| <b>BASE IMPONIBLE:</b>          |          |              | <b>2,460,00</b> |
| <b>IVA: 12,00%</b>              |          |              | <b>295,20</b>   |
| <b>TOTAL FACTURA:</b>           |          |              | <b>2,755,20</b> |

EMITIR CHEQUE NO ENDOSABLE A NOMBRE DE MATELEC, C.A. - NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES  
FORMA DE PAGO: EFECTIVO( ), CHEQUE( ), DEP/TRANSF.( ), OTROS( ) RECIBIDO POR :

MOBIL DE VENEZUELA S.A. AV. GUAYMARRE ZONA LA TRAMPA MARACAY EDO. BOGARA RIF: 24786136-4 TEL: 0843.022711 MASTER No. Protocolo SENAT 100005-21010200 REGION CENTRAL FECHA 03-06-2014 DESDE EL N° 00-0014001 HASTA EL N° 00-0018000

**ORIGINAL - CLIENTE**

**CERAMI FERRER LA TEJERA, C.A.**  
RIF: J-31677581-0  
AV HENRIQUE TEJERA NRO 75-B-110 ZONA POSTAL 2001 SECTOR VALENCIA

FECHA: 06/05/2015 HORA: 10:17 FACTURA # 00020363

DATOS DEL CLIENTE  
RAZON SOCIAL: UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
RIF/CI: G200000414

| Cant         | Descripcion                                 | Precio | Importe         |
|--------------|---------------------------------------------|--------|-----------------|
| 2            | TUBO AF 34" X 6 MTRS 101010032 TUBRICA (G)  | 258.93 | 517.86          |
| 5            | TEE AF 34" 101011032 TUBRICA (G)            | 17.86  | 89.30           |
| 5            | CODO AF 34"X90 101011017 TUBRICA (G)        | 13.40  | 67.00           |
| 6            | VALVULA DE BOLA AF COMPACTA ROSCA 34" TU(G) | 62.50  | 375.00          |
| 10           | UNION AF 34" 101011047 TUBRICA (G)          | 12.00  | 120.00          |
| 6            | UNION UNIVERSAL ROSCA AF ASTM 34" TUBRIC(G) | 28.58  | 171.48          |
| 6            | ADAPTADOR HENNER AF 34" 101011077 TUBRIC(G) | 13.40  | 80.40           |
| 2            | SOLDADURA UNITECA ALTA PRESION 14 DISTRI(G) | 679.47 | 1358.94         |
| 1            | BROCHA CEBRA 1200 12" (G)                   | 30.34  | 30.34           |
| 10           | PINTURA DURAMAX ESMALTE GRIS CLARO 11 HO(G) | 708.00 | 7080.00         |
| BI G 12.00%  |                                             |        | 9690.52         |
| IVA G 12.00% |                                             |        | 1186.86         |
| <b>TOTAL</b> |                                             |        | <b>11077.38</b> |

DIRE: AV BOLIVAR NORTE SECTOR RECTORADO N  
15739 VALENCIA EDO CARABOBO  
Telefono: 04144165856  
Numero: 295442

E0C000557

**PAGADO**  
**CERAMI FERRER LA TEJERA, C.A.**  
RIF: J-31677581-0

NOTA: SE GENERARAN NOTAS DE CREDITO POR MERCANCIAS NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES. MATERIAL DE SEGUNDA Y TERCERA NO TIENEN CAMBIO  
LA MERCANCIA SE DESPACHA A PE DE CAMION

Bs. **4,642.84**

0116-0026-38-0021449449  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
UC PROY REA D TRES BANCO D

SEGUIRE LA ORDEN DE  
**FERRE TODO NORTE C.A.**

LA CANTIDAD DE CUATRO MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y DOS CDO  
DEHEUTA Y CUATRO CANTINOS BOLIVARES  
FECHA: NAGUANAGUA, 12 DE MAYO DE 2015

**bod**

NO EVIDOSABLE, CAUCA A LOS 60 DIAS

680000029

**SENIAT**  
J-403996911  
FERRE TODO NORTE, C.A.  
CALLE 123 C/C AVENIDA MONTES DE OCA  
NRO 102-6 SECTOR SANTA CECILIA VALENCIA  
CARABOBO ZONA POSTAL 2001  
TELF: 0241-825.80.42

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
RIF: G200000414  
DIR: RECTORADO AV BOLIVAR NORTE VALENCIA  
EDO CARABOBO  
Dcto.: 0000014594  
COND. PAGO: CONTADO  
Atend.: ANDRES HERNANDEZ

**FACTURA**

FACTURA: 00014457  
FECHA: 06-05-2015 HORA: 13:07

4 x Bs 1.160,71  
SPRAY SPRAY LIMPIA CONTACTO Bs 4,642,84

SUBTTL Bs 4,642,84

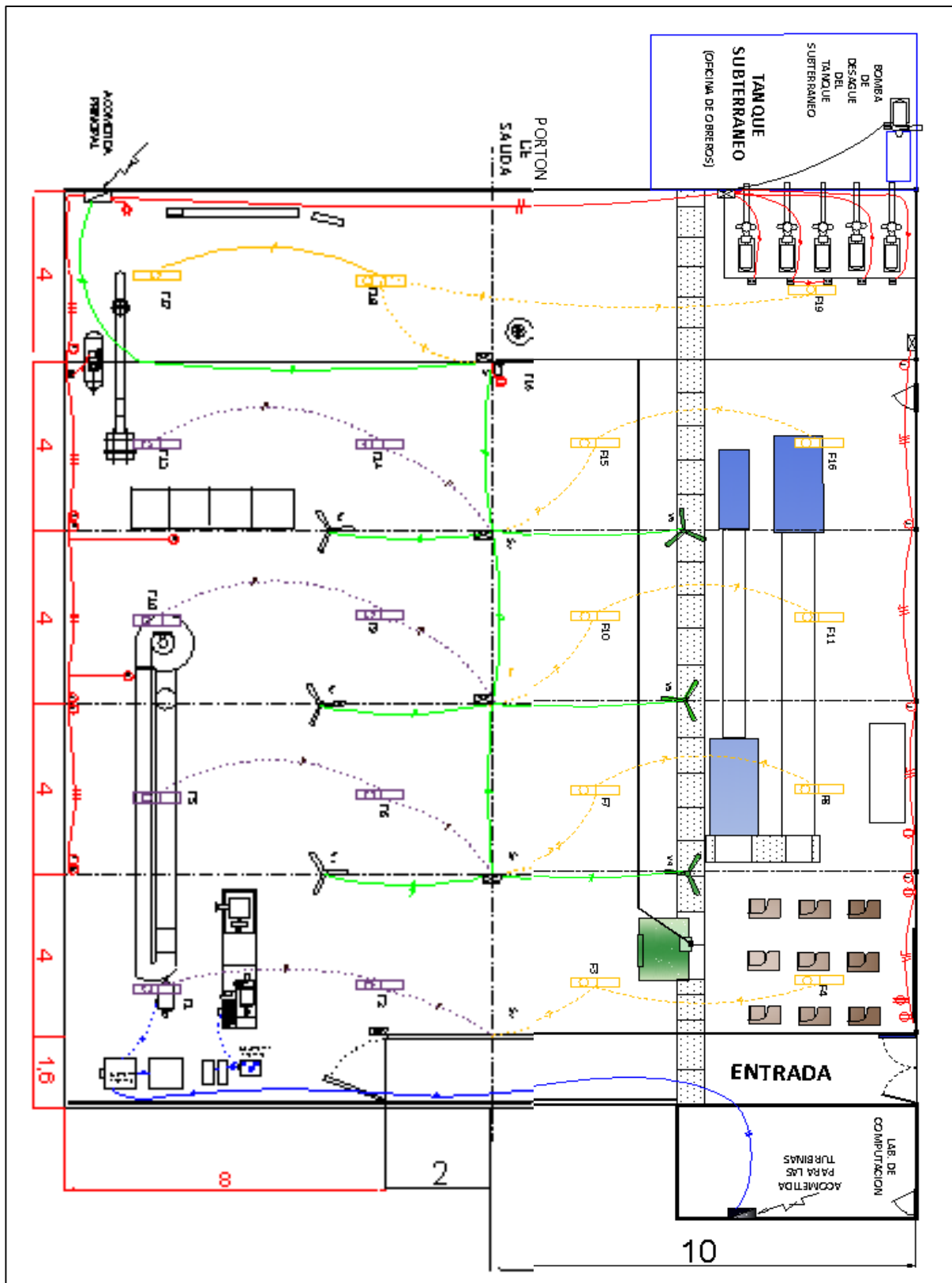
BI G (12,00%) Bs 4,642,84  
IVA G (12,00%) Bs 557,14

**TOTAL Bs 5.199,98**  
EFFECTIVO 1 Bs 5.200,98  
CAMBIO Bs 1,00  
MH Z1B8041220

CODIGO CUENTA CLIENTE 0116 - 0026 - 38 - 0021449449  
 CUENTA NUEVA  
 15000024  
 23222,05  
 15000024  
 PÁGUESE A LA ORDEN DE: FERRE TODO NORTE, C.A.  
 LA CANTIDAD DE: VENTILADORES MIL DOSCIENTOS VENTIDOS CON CINCO CENTIMOS  
 BOLÍVARES  
 NAGUANAGUA, 06 DE MAYO DE 2015  
 22/10/14 32279  
 15000024  
 CARGA A LOS 60 DIAS, NO ENDO SABER  
 bod NAGUANAGUA

**SENIAT**  
 J-403996911  
 FERRE TODO NORTE, C.A.  
 CALLE 123 C/C AVENIDA MONTES DE OCA  
 NRO 102-6 SECTOR SANTA CECILIA VALENCIA  
 CARABOBO ZONA POSTAL 2001  
 TELF: 0241-825.80.42  
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
 RIF: G200000414  
 DIR: RECTORADO AV BOLIVAR NORTE VALENCIA  
 EDO CARABOBO  
 Dcto.: 0000014570  
 COND. PAGO: CONTADO  
 Atend.: ANDRES HERNANDEZ  
**FACTURA**  
 FACTURA: 00014433  
 FECHA: 06-05-2015 HORA: 08:52  
 11 x Bs 1.191,07  
 PAVCO PAVCO TURBO 2 A/FRIA X6MTR Bs 13.101,77  
 8 x Bs 116,07  
 PAVCO PAVCO CODO 2 X 90 A/F Bs 928,56  
 8 x Bs 84,82  
 PAVCO PAVCO ANILLO 2 AF Bs 678,56  
 4 x Bs 71,43  
 PAVCO PAVCO ADA MACHO 2 A/F Bs 285,72  
 2 x Bs 98,21  
 CONEXION CONEXION P/TANQUE Bs 196,42  
 4 x Bs 982,14  
 FONDO FONDO DE HERRERIA GALON GRIS KO Bs 3.928,56  
 2 x Bs 312,50  
 RAMPLU RAMPLU VERDE 1/4 EMP 100 PZA Bs 625,00  
 50 x Bs 6,25  
 TORNILLO TORNILLO A/R PAN PHS 8X1 Bs 312,50  
 50 x Bs 35,71  
 ABRAZADERA ABRAZADERA 3/8 REDONDA Bs 1.785,50  
 3 x Bs 459,82  
 PAVCO PAVCO UNION UNIVERSAL 2 A/F Bs 1.379,46  
 SUBTTL Bs 23.222,05  
 BI G (12,00%) Bs 23.222,05  
 IVA G (12,00%) Bs 2.786,65  
**TOTAL Bs 26.008,70**  
 EFECTIVO 1 Bs 26.009,70  
 CAMBIO Bs 1,00  
 7184  
 Z1B8041220

**ANEXO N° 13.** Croquis dimensionado en metros del laboratorio Elías Sánchez Díaz.



# **ANEXO Nº 14. PLANO DEL BANCO DE TURBINA KAPLAN**

