



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**“PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN Y ABASTECIMIENTO DEL AGUA DE
CONSUMO EN UN CENTRAL AZUCARERO”**

Tutora Académico
Prof. Zulay Niño

Tutor Industrial
Ing. David Rivas

Autor
Castillo, Javier

Valencia, 13 de Junio de 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**“PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN Y ABASTECIMIENTO DEL AGUA DE
CONSUMO EN UN CENTRAL AZUCARERO”**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Químico

Tutora Académico
Prof. Zulay Niño

Tutor Industrial
Ing. David Rivas

Autor
Castillo, Javier

Valencia, 13 de Junio de 2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que han estado siempre presentes apoyándome en la realización de mis metas, y que han participado en muchas de las etapas de mi vida...

Especialmente...

A mis padres, que siempre han estado presentes para guiar mis decisiones en la vida.

A mi hermana, por ser tan especial conmigo en todo momento.

A mi novia, por su comprensión y cariño.

A los padres de mi novia, por haber tendido la mano a mi familia en momentos de confusión e incertidumbre.

A todas aquellas personas que por algún motivo, están siendo castigados injustamente por el sistema judicial en nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haber sido participe en todos aquellos momentos que pudieron ser de lamentar, y que gracias a su presencia me encuentro culminando esta meta.

A MIS PADRES

Los cuales me brindaron todo su apoyo incondicional, y faltarían vidas por vivir para seguir agradeciéndoles por hacer de mí la persona que soy, gracias por tanta comprensión, y por ser las personas que son.

A LA EMPRESA

Gracias por haber puesto su confianza en mí, y gracias a todo el equipo de trabajo que siempre estuvo presente para lograr esta tarea.

A LA TUTORA, ZULAY NIÑO

Primeramente por haber aceptado la tarea de ser la guía en esta meta. Por su comprensión y entendimiento. Muchas gracias.

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2

CAPÍTULOS**I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Situación actual.....	5
1.2.2 Situación deseada.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Limitaciones.....	7

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Fundamentos teóricos.....	11
2.2.1 Ecuación de Bernoulli.....	11
2.2.2 Pérdidas de energía por fricción.....	12
2.2.3 Número de Reynolds.....	12
2.2.4 Factor de fricción de Darcy.....	13
2.2.5 Pérdidas de energía menores.....	13
2.2.6 Bombas.....	14
2.2.7 Bombas centrífugas.....	14
2.2.8 NPSH requerido.....	16
2.2.9 NPSH disponible.....	16

2.2.10 Cabezal de una bomba.....	16
2.2.11 Manómetro.....	17
2.2.12 Manómetro de Bourdon.....	17
2.2.13 Selección del material de tuberías.....	18
2.2.14 Planificación de acción.....	18
2.2.14.1 Producción.....	19
2.2.14.2 Plan de recursos humanos.....	19
2.2.14.3 Duración.....	20
2.2.14.4 Obtención de recursos.....	21
2.2.14.5 Planificación de actividades paso por paso.....	21
2.2.15 Producción de azúcar.....	21
2.2.15.1 Preparación y molienda.....	23
2.2.15.2 Cocimiento de Crudo.....	24
2.2.15.3 Cocimiento de Refino.....	26

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de la investigación.....	29
3.1.1 Tipo de la investigación.....	29
3.1.2 Nivel de la investigación.....	29
3.2 Población.....	30
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.4 Etapas de la investigación.....	30
3.5 Desarrollo de la investigación.....	31
3.5.1 Determinación de las características actuales.....	31
3.5.2 Generación de alternativas de mejora.....	35
3.5.3 Diseño esquemático de las alternativas.....	36
3.5.4 Selección técnico-económico de una alternativa.....	37
3.5.5 Elaboración de un plan de aplicación.....	38

IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Determinación de las características actuales.....	39
--	----

4.2 Generación de alternativas de mejora.....	53
4.3 Diseño esquemático de las alternativas.....	54
4.4 Selección técnico-económica de una alternativa.....	60
4.5 Elaboración de un plan de aplicación.....	65
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	79
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	
ANEXOS.....	83
ANEXOS A. Tablas de datos.....	84
ANEXOS B. Cálculos típicos.....	100
ANEXOS C. Material bibliográfico.....	118

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Puntos de muestreo de agua en los pozos y entrada de la fábrica.....	31
Tabla 3.2. Parámetros de medición para las muestras de agua de los pozos y la fábrica.....	32
Tabla 4.1. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la primera semana.....	40
Tabla 4.2. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la segunda semana.....	41
Tabla 4.3. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la tercera semana.....	42
Tabla 4.4. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la cuarta semana.....	43
Tabla 4.5. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la quinta semana.....	44
Tabla 4.6. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la sexta semana.....	45
Tabla 4.7. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la séptima semana.....	46
Tabla 4.8. Caudales de trabajo en la línea principal que llega de los pozos.....	50
Tabla 4.9. Caudales de agua cruda en cada uno de los pozos.....	51
Tabla 4.10. Consumo de agua en diversos equipos dentro de la fábrica.....	52
Tabla 4.11. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 1.....	55
Tabla 4.12. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 2.....	55
Tabla 4.13. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 3.....	58
Tabla 4.14. Matriz de ponderación para la primera alternativa de mejora.....	60

Tabla 4.15. Matriz de ponderación para la segunda alternativa de mejora.....	62
Tabla 4.16. Matriz de ponderación para la tercera alternativa de mejora.....	63
Tabla 4.17. Plan de aplicación de la alternativa seleccionada.....	66
Tabla A.1. Caudales de agua en la entrada de la fábrica tomados del indicador de flujo digital.....	84
Tabla A.2. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de sacarato para crudo y el tanque aniónico para el flash y filtro 1.....	85
Tabla A.3. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de ácido fosfórico y el tanque aniónico para el flash y filtro 2.....	86
Tabla A.4. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de hidrosulfito para la clarificadora de licor y la clarificadora de meladura.....	87
Tabla A.5. Valores para determinar el consumo de agua en el gusano de magma de segunda y gusano de magma de tercera.....	88
Tabla A.6. Valores para determinar el consumo de agua en la desendulzadora N°3 y desendulzadora N°4.....	89
Tabla A.7. Valores para determinar el consumo de agua en el cristalizador N°11 y el cristalizador N° 12.....	90
Tabla A.8. Valores para determinar el consumo de agua en el cristalizador N°3 y el clarificador de meladura.....	91
Tabla A.9. Valores para determinar el consumo de agua en las centrifugas de tercera.....	92
Tabla A.10. Valores para determinar el consumo de agua en el lavado de los calentadores.....	93
Tabla A.11. Valores para determinar las dimensiones de los cuerpos de evaporadores y tachos de crudo y refino.....	94

Tabla A.12. Valores para determinar las dimensiones de los cuerpos de calentadores.....	95
Tabla A.13. Valores de las dimensiones de los cuerpos de evaporadores de las líneas A, B Y C.....	96
Tabla A.14. Valores de las dimensiones de los cuerpos de calentadores y tachos de refino y crudo.....	97
Tabla A.15. Valores de los consumos de agua en el enfriamiento de las bombas....	98
Tabla A.16. Valores de algunos de los tanques presentes en la fábrica.....	99
Tabla B.1. Valores para la determinación del H de la bomba del tanque 2.....	107
Tabla B.2. Propiedades del agua a 28°C.....	109
Tabla B.3. Accesorios presentes en el tramo de tubería del volumen de la figura B.5.....	110
Tabla B.4. Accesorios presentes en el tramo de tubería Punto 2 – Gusanos de magma y cristalizadores.....	113
Tabla B.5. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 1 – punto 2.....	114
Tabla B.6. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 3 - desendulzadora.....	114
Tabla B.7. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 4 – piscinas aniónicas y clarificadora.....	115
Tabla B.8. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 5 – clarificadora.....	116
Tabla B.9. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 5 - evaporadores.....	116
Tabla C.1. Factores de fricción para tuberías comerciales nuevas de acero con el flujo en la zona de total turbulencia.....	126
Tabla C.2. Desempeño hidráulico de válvulas automáticas Dorot.....	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Manómetro de tubo Bourdon.....	18
Figura 2.2 Proceso de fabricación de azúcar.....	22
Figura 3.1. Distribución del agua que viene de los pozos.....	34
Figura 3.2. Volumen de control para el cálculo de agua cruda utilizada en la imbibición.....	34
Figura 4.1. Diagrama de flujo de distribución del agua en el sistema productivo.....	49
Figura 4.2. Diagrama de flujo de la distribución del agua para la alternativa 1.....	56
Figura 4.3. Diagrama de flujo de la distribución del agua para la alternativa 2.....	57
Figura 4.4. Diagrama de flujo de la distribución del agua para la alternativa 3.....	59
Figura 4.5. Diagrama de Gant del plan de aplicación.....	71
Figura B.1. Balance de masa en el sistema de imbibición.....	100
Figura B.2. Balance en la distribución del agua que viene de los pozos.....	101
Figura B.3. Secciones de los cuerpos de evaporadores.....	104
Figura B.4. Volumen de control para la determinación del caudal que proporciona el tanque 2.....	106
Figura B.5. Volumen de control para determinar la caída de presión en la línea de la válvula de control a fijar.....	108
Figura B.6. Volumen de control para determinar el requerimiento del sistema.....	111
Figura C.1. Propiedades del agua a diferentes temperaturas.....	118
Figura C.2. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías normalizadas de acero...	119
Figura C.3 Valores de coeficientes de resistencia o longitud equivalente representativo en diámetro de tuberías, para diferentes accesorios.....	120
Figura C.4. Aspereza relativa como una función del diámetro para tubería de varios materiales.....	122

Figura C.5. Coeficientes de resistencia para accesorios de tuberías.....	123
Figura C.6. Longitudes equivalentes expresadas en metros de tubería rectilínea.....	125

RESUMEN

La presente investigación, tiene como finalidad proponer mejoras al sistema de distribución y abastecimiento del agua de consumo en un central azucarero, con el propósito de optimizar el consumo del agua dentro de la fábrica. Para el logro del resultado deseado, se plantean los siguientes objetivos; determinar las características del sistema actual de distribución y abastecimiento del agua, generar alternativas de mejora para el sistema de distribución y abastecimiento del agua, rediseñar las diferentes alternativas propuestas, seleccionar desde el punto de vista técnico-económico la mejor alternativa y elaborar el programa de implementación de la alternativa seleccionada.

La distribución de agua en la fábrica presenta dos sistemas de tanques de almacenamiento, con un sistema de rebose del menor a el mayor volumen. Ambos pueden proporcionar agua a toda la fábrica, dependiendo de la forma como se opere el sistema de bombeo.

Se estudió el consumo de agua de los equipos dentro de la fábrica, determinando los caudales en cada uno de ellos mediante el método de volumen-tiempo y aplicando balances de masa y energía, obteniendo que el gasto más importante se encuentra en el mantenimiento de los cuerpos de evaporadores.

Se estableció como prioridad el almacenar y suministrar de mejor forma el agua hacia la fábrica, haciendo más efectiva su utilización en el lavado de todos los cuerpos de evaporación (evaporadores y tachos) y calentadores. Para lograr esto se propone que el agua proveniente de los pozos debe primeramente llegar al tanque de mayor capacidad, por medio de un sistema de control de nivel se suministrara agua al tanque de menor capacidad sin afectar los tiempos de producción. Por último se realizó el plan de aplicación de la solución seleccionada, administrando recursos y distribuyendo actividades entre los responsables para mejorar el sistema actual.

INTRODUCCIÓN

En la industria, el uso del agua lleva consigo una gran responsabilidad hoy en día, diariamente se generan grandes consumos de este recurso, pero no por ser este renovable debe utilizarse de forma indiscriminada. El agua es una materia prima indispensable en los procesos de fabricación y generación de energía, el control de su consumo debe formar parte de las prioridades de toda empresa a nivel mundial.

El objetivo de la presente investigación es determinar las condiciones más apropiadas de operación del sistema de distribución y almacenamiento del agua en el central azucarero, a fin de hacer más efectivo su uso. Para ello es necesario realizar una evaluación hidráulica del sistema, revisar su distribución y determinar caudales de trabajo, establecer prioridades y proponer alternativas de solución y seleccionar la más apropiada, la cual crea un plan de implementación.

Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente se establece un estudio del agua para determinar sus condiciones, junto con un reconocimiento detallado del sistema de distribución y almacenamiento de la misma, posteriormente, se realiza una recolección de datos experimentales para determinar los flujos de agua que se utilizan en las operaciones más significativas del proceso de fabricación de azúcar.

Después de conocer las condiciones en la que se encuentra el sistema y los caudales de operación en el proceso, es necesario establecer las prioridades a resolver para luego proponer una alternativa de mejora. Por último, se crea un plan de implementación de la alternativa seleccionada.

Esta investigación se encuentra estructurada en cuatro capítulos, en el primero se presenta la problemática a estudiar, luego, en el segundo se presentan los distintos aportes de investigaciones anteriores así como los fundamentos teóricos necesarios para el cumplimiento de cada uno de los objetivos, seguidamente en el capítulo tres se establecen los distintos procedimientos a seguir para alcanzar los objetivos, después en el capítulo cuatro se encuentran y analizan los resultados obtenidos, para

finalmente llegar a las conclusiones y recomendaciones logradas en la investigación. La importancia de este trabajo radica en solucionar la problemática que afecta el almacenamiento, distribución y consumo del agua en una empresa de producción de azúcar.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se presenta la situación a estudiar, las características actuales y deseadas, el objetivo general y los específicos a lograr, las razones que justifican la investigación y al mismo tiempo las limitaciones encontradas.

1.1. Descripción del problema

El central azucarero, se estableció en 1955 en la “Hacienda El Palmar”, e hizo su primera zafra en 1956. Ha molido hasta finales del año 2009, 54 zafras en total. Su capacidad de molienda original fue de 3.600 toneladas de caña por día. Durante la década de los años 60, el central, duplicó su molienda inicial e incorporó caña de azúcar de la zona de Carabobo. De igual forma, recibió materia prima semi-procesada de centrales azucareros del Tuy y Central La Pastora (Edo. Lara), haciendo posible la incorporación de esas centrales a la producción en forma rentable y que la empresa, diversifique su modalidad de producción, considerándose como la refinería de azúcar más importante del país.

Al principio de los años 70, continúa su aumento de la producción y se procesa azúcar cruda procedente del Central Río Yaracuy, con lo cual se adquirió la tecnología de refinación. Los siete años que siguieron, fueron de crisis y deterioro de la cañicultura; y la empresa, en su empeño por continuar operando y generando beneficios, amplió su refinería para recibir todo tipo de materia prima semi-procesada, tanto nacional como importada. En la actualidad, se aprueban inversiones en equipos que permiten obtener una capacidad de molienda total de 9.000 toneladas de caña por día. La capacidad de producción del central azucarero es de más de 100.000 toneladas de azúcar por zafra, para las cuales requiere moler algo más de un 1.100.000 toneladas de caña, a razón de 7.000 a 8.000 toneladas por día, comenzando en el mes de noviembre y culminando a principios del mes de mayo.

El central azucarero refina 160.000 toneladas de azúcar crudo y otras materias primas. La capacidad total de producción de la empresa, llega así a 260.000 toneladas

de refinado por año, es decir, que en el central azucarero se manufacturan aproximadamente 3,5 de cada 10 Kg de azúcar consumida en el país, bajo su marca líder Montalban. La caña molida por este central es cultivada en más de 13.200 hectáreas, por 386 productores independientes, que se extienden a lo largo de los estados Aragua, Carabobo, Guárico, Cojedes, Miranda y Yaracuy.

Actualmente esta gran capacidad de producción está siendo afectada, debido a una insuficiencia de agua para los procesos en algunas zonas de la fábrica, la cual ha sufrido modificaciones en su red de abastecimiento y distribución; muchos de estos cambios efectuados han sido sin estudio de ingeniería, generando complicaciones en su diseño.

Debido a esta problemática, el central azucarero desea contar con opciones de rediseño que puedan simplificar y mejorar el sistema de distribución y abastecimiento, satisfaciendo el consumo actual del vital líquido.

1.2. Formulación del problema

En la actualidad el central azucarero, no logra trabajar de manera efectiva en algunas etapas del proceso donde existe un alto consumo de agua. Bajo esta situación se requiere una evaluación que detecte las razones de la insuficiencia del líquido, así como también una posible simplificación del sistema principal de abastecimiento dentro de la fábrica.

1.2.1. Situación actual

La insuficiencia de agua en algunas zonas de la fábrica, está produciendo un aumento en los tiempos de operación dentro de los procesos de producción del central azucarero. Algunas operaciones tienen que ser detenidas para que el agua sea suficiente en cada etapa del proceso.

1.2.2. Situación deseada

El central azucarero requiere una evaluación del sistema de distribución de tuberías de agua cruda, que permita: desarrollar soluciones que logren solventar la

insuficiencia de agua en algunas zonas de la fábrica y permita un rediseño de la red de tuberías facilitando a los operadores la visualización y manejo de válvulas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer mejoras al sistema de distribución y abastecimiento del agua de consumo en un central azucarero.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características del sistema actual de distribución y abastecimiento del agua de consumo.
2. Generar alternativas de mejora para el sistema de distribución y abastecimiento del agua de consumo.
3. Rediseñar las diferentes alternativas propuestas.
4. Seleccionar desde el punto de vista técnico-económico la mejor alternativa.
5. Elaborar el programa de implementación de la alternativa seleccionada.

1.4. Justificación

Esta investigación tiene gran relevancia a nivel social y sobre todo ambiental; ya que, el agua es uno de los elementos más importantes en los procesos de productos del sector de alimentos, por esta razón su procedencia, y su consumo son de vital importancia. El uso de agua de forma industrial, es uno de los factores que afecta de manera significativa al medio ambiente, es por ello que se debe dar un trato especial a este recurso.

En cuanto a la conveniencia, este proyecto le dará al central azucarero una posibilidad de saber si invertir o no en modificaciones del sistema de agua dentro de la fábrica. En relación a las implicaciones prácticas, se podrá determinar si en el sistema de distribución de agua existen tuberías que no están cumpliendo alguna función específica, las cuales puedan ser desmontadas y utilizadas en el rediseño.

Desde el punto de vista teórico servirá de referencia para futuras investigaciones que se realicen en el área de sistemas de tubería; así mismo le permite al autor poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridos en los estudios de pre-grado y además cumplir con los requerimientos necesarios para optar al título de ingeniero químico.

1.5. Limitaciones

En esta investigación la limitante más importante que se presenta es el tiempo que se tiene para la realización del mismo, dado que se necesita realizar varias tomas de datos antes de que culmine la época de zafra, así como también la ausencia de instrumentos de medición, y la dificultad de identificar tuberías debido a la ausencia de luz y exceso de calor dentro de fabrica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

En esta sección se describen las bases teóricas que soportan este trabajo de investigación. También se presentaran aquellos trabajos de grado e investigaciones, que tienen cierta afinidad con esta investigación, y que sirvieron de apoyo para la realización de la misma.

2.1. Antecedentes

La investigación realizada por Luis Enrique Rodríguez González (2009). Propone soluciones al fuerte consumo de agua cruda producto de la fabricación de azúcar, considerando la incidencia negativa de su uso en los aspectos energéticos, medioambiental y calidad del producto azúcar crudo. Propone que los parámetros de temperatura y pureza de los condensados calientes deben estar adecuados, mediante un proceso de destilación realizado en la reserva de evaporadores de múltiple efectos, lo cual contribuye al decrecimiento del consumo de agua cruda industrial, e incluso a prescindir de ella. Los destilados más puros y calientes están destinados a la generación de vapor sobrecalentado, los de menor pureza y temperatura se utilizan en los procesos de imbibición, centrifugación, alcalización de jugo, sistemas de enfriamiento cerrados y demás sistemas del proceso de producción, en correspondencia con las exigencias particulares de cada sistema.

La aplicación de la propuesta asegura una disminución del consumo de agua cruda industrial, proporciona ventajas energéticas por concepto de aprovechamiento del calor sensible presente en los condensados reincorporados al proceso, disminución de las purgas en los generadores de vapor, permanente limpieza de las superficies de intercambio térmico y mayor aprovechamiento de la capacidad de generación eléctrica instalada.

El trabajo realizado por John Fredy Ríos, Jorge Andrés Calderón, Félix Echeverría, Gustavo Peñuela (2007). Explica que los sistemas de distribución pueden afectar la calidad del agua debido a las condiciones de las tuberías y a la operación

del sistema. Algunos parámetros son sensibles a la variación durante la distribución como: el cloro residual, pH, color y turbiedad, debido a que el material de la tubería puede presentar deterioro en estos sistemas a causa de la corrosividad del agua.

Ellos concluyen que el uso de un sistema piloto de distribución es ventajoso ya que ofrece flexibilidad en su diseño, facilita el estudio de la interacción entre el líquido y la pared de tubería. Utilizando materiales metálicos se determina el ataque a la superficie interna de las tuberías y las causas de formación de depósitos sobre ellas, así como identificar los efectos de esta interacción en la calidad del agua.

Por otro lado, R. Cobacho, E. Cabrera, E. Cabrera Jr (2007). Hablan de la determinación de un período óptimo para renovar tuberías. Ellos comentan que rara vez se incluyen los costos que producen las pérdidas de agua, debido a fugas en el sistema. Este estudio presenta un modelo de costos completo, que no sólo incluye tales gastos, si no, que también determinan la influencia de tales gastos en el problema entero. Se realizó un análisis de sensibilidad y se ha establecido una gama en los períodos de renovación óptimos para los valores típicos de costos de producción de agua y la presión de red media.

Diego Araque y Juan Saldarriaga (2005). Muestran en su trabajo un algoritmo que logra uniformizar el estado de presiones de servicio en una red de distribución de agua potable. Para lograr esto de forma óptima, se maximiza un índice que relaciona la potencia por unidad de peso disipada por la red y disponible para disipar por la misma; esto se denomina índice de resiliencia, lo cual mejora la habilidad del sistema de distribución para enfrentar eventuales fallas en el mismo, retarda los procesos de renovación de tuberías y minimiza el nivel de fugas en la red.

Escobar y Rossell (2002). El objetivo de esta investigación fue evaluar el requerimiento y tratamiento del agua de uso industrial en una empresa azucarera, con el fin de generar alternativas que regulen el consumo y adecúen la calidad del agua de acuerdo al uso en los equipos. Se determinó el requerimiento teórico y la calidad del agua para cada equipo y uso, se realizó un estudio de caracterización del agua para obtener las condiciones actuales, y se determinaron las causas potenciales de la diferencia entre los consumos y la calidad, finalizando con la alternativa más

favorable desde el punto de vista técnico-económico.

Las conclusiones más relevantes fueron que el mayor consumo de agua se presentó en el área de generación de vapor, específicamente en la alimentación de las calderas (20 m³/h más del teórico) y que a lo largo del sistema de enfriamiento se cuantificaron pérdidas.

García y Juárez (1999). El objetivo de este trabajo es evaluar el uso del agua en Central El Palmar S.A. calculando su consumo actual, el requerimiento real del agua e impacto económico apreciable entre ambas, interpretar los análisis de calidad de agua en los distintos sectores; para comprobar si cumple con el uso requerido y finalmente generar alternativas que permitan regular su utilización.

En esta investigación se encontró que no se puede utilizar la totalidad del caudal suministrado por los pozos, debido a las pérdidas existentes en el sistema; que la mano de obra podría ser el factor más influyente en la diferencia entre los valores teóricos y los experimentales, y que la calidad del agua utilizada se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el ente empresarial.

Antonio Vela, Fernando Martínez, Jorge García-Serra, Rafael Pérez (1994). En ese artículo se presenta una serie de técnicas encaminadas a reducir las pérdidas de agua e incrementar la eficiencia de los abastecimientos. La metodología propuesta propone criterios de selección y optimización de las estrategias que deben ser aplicadas para conseguir estos objetivos de forma óptima.

En este sentido se establece una jerarquía en base a criterios técnicos y de rentabilidad económica, que con la ayuda de modelos matemáticos y la debida coordinación en las operaciones, permitirá establecer un programa integral para alcanzar y mantener un estado óptimo de funcionamiento del sistema.

Asimismo, se recomienda efectuar un análisis completo del sistema hidráulico que, a través de un diagnóstico, se determinen las causas que disminuyen su seguridad y rendimiento, de modo que se pueda optimizar económicamente las medidas necesarias para cumplir las restricciones de riesgo máximo aceptable y eficiencia mínima exigida en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos, que son cada vez más escasos.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Ecuación de Bernoulli

Todo estudio hidráulico de un sistema de bombeo requiere de la aplicación de ecuaciones que determinen la variación de energía entre dos puntos. Estas ecuaciones de conservación de energía deben considerar la disipación, intercambio y fuentes de energía en todas sus formas.

El modelo matemático más conocido de esta naturaleza es la Ecuación de Bernoulli (Perry, 1992). Ésta puede ser desarrollada de diferentes formas según sea la aplicación, tales como: ecuación de Bernoulli ideal, balance global de energía del teorema de Bernoulli y energía mecánica del teorema de Bernoulli.

La ecuación a utilizarse en esta investigación es la de energía mecánica del teorema de Bernoulli, en ésta se consideran cuatro principales fuentes de energía: la velocidad y presión del fluido, la energía potencial y fuentes externas tales como bombas. Adicionalmente, según Perry (1992) se considera como fuente de intercambio de energía los equipos de recuperación de potencia (turbinas) y como disipación, se consideran las pérdidas de energía por fricción ocasionadas por los accesorios y tuberías que se encuentren en el sistema, lo cual viene dado por la ecuación 1.

$$\frac{P_i - P_{i+1}}{\gamma} + Z_i - Z_{i+1} + \frac{V_i^2 - V_{i+1}^2}{2 \cdot g} \pm He - h_L = 0 \quad (1)$$

Donde:

P_i : Presión en el punto “i” (kgf/m²)

Z_i : Altura desde el punto de referencia hasta el punto “i” (m)

V_i : Velocidad de desplazamiento del fluido (m/s)

γ : Peso específico del fluido de trabajo (kgf/m³)

g : Aceleración local debida a la gravedad (m/s²)

He : Trabajo de eje introducido o retirado en unidades de cabezal (m)

h_L : Pérdidas de energía por fricción (m)

2.2.2. Pérdidas de energía por fricción

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

Según Streeter (1999), en estructuras largas, las pérdidas de energía por fricción son muy importantes, por lo que ha sido objeto de investigaciones teórico-experimentales para llegar a soluciones satisfactorias de fácil aplicación. Las pérdidas de energía por fricción se obtienen a partir de la ecuación 2.

$$h_L = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left[Fd \cdot \left(\frac{L_T}{D} + \sum \frac{Le}{D} \right) + \sum K \right] \quad (2)$$

Donde:

Fd : Factor de fricción de Darcy (adim)

L_T : Longitud total de tubería en el tramo (m)

D : Diámetro interno de la tubería (m)

$\frac{Le}{D}$: Longitud equivalente de los accesorios (adim)

K : Coeficiente de fricción de los accesorios (adim)

2.2.3. Número de Reynolds

Streeter (1999) expresa que el número de Reynolds representa la función que relaciona la transferencia del tipo de régimen de flujo que experimenta un fluido. Osborne Reynolds demostró que esta función dependía del diámetro de la tubería, la densidad del fluido de trabajo, la velocidad promedio de flujo y de la viscosidad absoluta. Dicha función se verifica mediante la ecuación 3.

$$Re = \frac{D \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (3)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds (adim)

ρ : Densidad del fluido de trabajo (kg/m^3)

μ : Viscosidad del fluido de trabajo (kg/m.s)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

v: Velocidad del fluido de trabajo (m/s)

2.2.4. Factor de fricción de Darcy

La fórmula para el factor de fricción desarrollada por Swamee y Jain (Mott, 1996) es:

$$f_d = 1,325 * \left\{ \ln \left[0,27 * \left(\frac{e}{D} \right) + 5,74 * \left(\frac{1}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (4)$$

Donde:

e: Rugosidad absoluta de la tubería (m)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

Re: Número de Reynolds (adim)

Según Potter (1998), esta ecuación es válida dentro de los intervalos $0,01 > e/D > 10^{-8}$.

2.2.5. Pérdidas de energía menores

Para Silva (2003), estas pérdidas de energía se deben a perturbaciones locales del flujo en las tuberías, originadas en válvulas, codos y otros accesorios. Las pérdidas menores resultan usualmente de cambios bastantes abruptos de la velocidad, en magnitud o en dirección. En general, un aumento de la velocidad (aceleración) está asociado con pérdidas de cabezal pequeñas, pero una disminución de la velocidad (desaceleración) causa grandes pérdidas de cabezal, debido a la turbulencia en gran escala que se genera. Generalmente se utilizan dos métodos para calcular las pérdidas menores, siendo estas:

Coefficiente de pérdidas (k): Se ha determinado en una primera aproximación que las pérdidas menores son independiente del número de Reynolds,

básicamente para flujo de turbulencia completa, este coeficiente de pérdida depende del accesorio de que se trata e indica un número de cabezales de velocidad.

Longitudes equivalentes (L_e/D): En este método las pérdidas menores están representadas por una longitud de tubería, L_e , que produce una pérdida equivalente a la pérdida que ocurre en el accesorio. Usualmente se expresa en términos de un número de diámetros de tubería.

2.2.6. Bombas

Las bombas fueron diseñadas para transformar y transferir energía a los fluidos, con el propósito de desplazarlos. Este desplazamiento normalmente es ascendente, en presión, altura y velocidad.

2.2.7. Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son empleadas comúnmente para el transporte de líquidos. Mc Cabe (1990), manifiesta que la energía mecánica del fluido es incrementada por acción centrífuga, cuando el líquido atraviesa una unión de succión, concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamada impulsor o rodete. Este se encuentra provisto de álabes radiales, haciendo que el fluido circule hacia fuera, por el interior de los espacios que existen entre los álabes, abandonando el rodete con una velocidad mayor que a la entrada del mismo.

El líquido a la salida del rodete se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta, y sale de la bomba a través de una conducción tangencial de descarga. El fluido recibe energía del rodete, que a su vez es transmitida a éste mediante el par de un eje giratorio, generalmente accionado mediante conexión directa con un motor de velocidad constante. La pérdida de potencia se debe a la fricción del fluido en el interior de la bomba y a las pérdidas por choques, generando calentamiento, y pérdidas por fugas, fricción de disco y en los cojinetes.

Las fugas representan un flujo invertido desde la descarga del rodete hasta el orificio de succión, y dan lugar a una reducción del volumen real descargado por la bomba por unidad de potencia consumida. La fricción de disco es la que tiene lugar

entre la superficie exterior del rodete y el líquido que ocupa el espacio comprendido entre el rodete y la parte inferior de la carcasa. Las pérdidas en los cojinetes representan la potencia que se requiere para vencer la fricción mecánica en los cojinetes y en prensaestopas o cierre de la bomba.

El rendimiento de una bomba centrífuga disminuye rápidamente con la velocidad de flujo para bajas velocidades, alcanza un valor máximo en la región de la capacidad especificada y disminuye a medida que la velocidad de flujo se aproxima al valor de cabezal cero.

La potencia suministrada a la bomba desde una fuente externa depende de la diferencia de presión entre la descarga y la succión y es independiente de la presión absoluta. A partir de consideraciones energéticas es irrelevante que la presión de succión sea inferior o superior a la presión atmosférica siempre que el fluido se mantenga en estado líquido. Sin embargo, si la presión de succión es sólo ligeramente mayor a la presión de vapor, parte del líquido puede vaporizarse súbitamente dentro de la bomba, dando lugar a un proceso que recibe el nombre de cavitación, que reduce enormemente la capacidad de la bomba y provoca una severa erosión.

McCabe (1990), habla del fenómeno de cavitación, el cual tiene origen cuando un líquido se desplaza a gran velocidad; este movimiento crea zonas de alta y baja presión. Cuando en las zonas de baja presión, ésta alcanza valores inferiores a la presión de vapor del líquido, se producen vaporizaciones súbitas que producen burbujas que chocan entre sí, o cuando entran en las zonas de alta presión, vuelvan a la fase líquida violentamente. Esto causa fuertes vibraciones cuya intensidad depende de la magnitud del fenómeno.

Según Silva (2003), la cavitación se evita cuando la suma de los cabezales de presión y velocidad en la succión de la bomba es suficientemente mayor que el cabezal de la presión de vapor del líquido. El exceso de la suma de estos cabezales sobre el de la presión de vapor se llama cabezal de succión neto positivo o también carga neta de succión positiva (NPSH, en inglés).

$$NPSH = \frac{Pa' - Pv}{\gamma} - Z_a - h_L \quad (5)$$

Donde:

P_v : Presión de vapor del líquido.

P_a : Presión de succión de la bomba.

Z_a : Altura entre la succión de la bomba y la superficie libre de líquido del tanque.

H_L : Perdidas de energía en la línea de succión.

2.2.8. NPSH requerido ($NPSH_R$)

Silva (2003), lo define como una función del diseño de la bomba y varía de una marca a otra, y entre diferentes modelos de una sola marca, así como con la capacidad y la velocidad de una bomba.

2.2.9. NPSH disponible ($NPSH_D$)

Es una función del sistema, de acuerdo con la ecuación 5, depende de la presión de vapor del líquido, de la altura de la succión de la bomba con respecto al nivel del líquido en el tanque y de las pérdidas en la línea de succión, para evitar la cavitación debe cumplirse que:

$$NPSH_D \geq NPSH_R \quad (6)$$

Dependiendo de las condiciones de aplicación, el NPSH disponible puede alterarse para conformarse con el que requiere la bomba para su aplicación satisfactoria.

2.2.10. Cabezal de una bomba

El cabezal de una bomba, se designa también como cabezal total, carga, columna o altura, se define como la diferencia de cabezal entre la descarga y la succión de la misma. Es decir, representa la cantidad de energía que se adiciona a una cantidad de peso del fluido conforme éste pase a través de la bomba (Silva, 2003). Esto se representa de la siguiente manera:

$$\Delta H = \frac{P_b - P_a}{\gamma} \quad (7)$$

Donde:

ΔH : Cabezal total (m)

P_a : Presión en la succión de la bomba (kgf/m^2)

P_b : Presión en la descarga de la bomba (kgf/m^2)

2.2.11. Manómetro

El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, entonces hay que sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Cuando se obtiene una medida negativa en el manómetro es debida a un vacío parcial.

2.2.12. Manómetro de Bourdon

El principio de medida en el que se basa este instrumento es el sensor conocido como tubo Bourdon. El sistema de medida está formado por un tubo aplanado de bronce o acero, cerrado, en forma de “C” de $\frac{3}{4}$ de circunferencia para la medición de bajas presiones, o enrollado en forma de espiral para la medición de bajas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión; este movimiento se transmite mediante un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada. La forma, el material y el espesor de las paredes dependen de la presión que se quiera medir.

El conjunto de medida está formado por un tubo Bourdon soldado a conexiones normalmente de latón, pero en el caso de altas presiones y también cuando hay que medir presiones de fluidos corrosivos se hacen de aceros especiales.

La exactitud de este tipo de manómetros depende en gran parte del tubo, por esa razón sólo deben emplearse tubos fabricados con las normas más estrictas y envejecidos cuidadosamente por los fabricantes. El tubo de uso más extenso es el tubo de metal en forma de “C” que viene cerrado en un extremo y abierto en el otro como en el que se observa en la Figura 2.1.

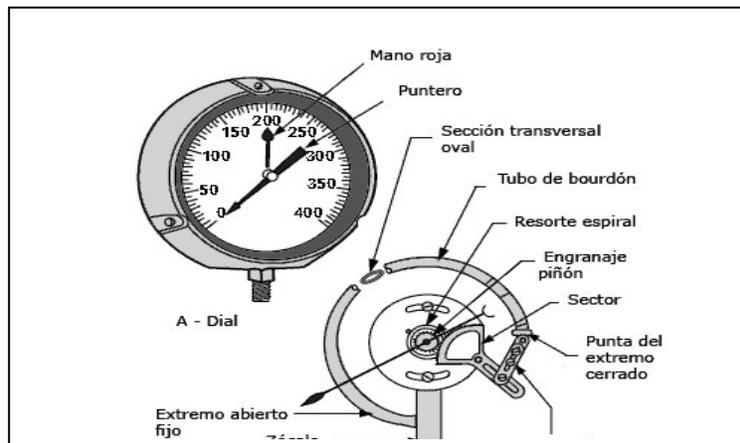


Figura 2.1 Manómetro de tubo Bourdon (Streeter, 2004)

Fuente: Electrónica, Direct Industry (Salón virtual de la industria).

2.2.13. Selección del material de tuberías

La selección del material de las tuberías debe basarse en las especificaciones establecidas de material y las recomendaciones de códigos aplicables, estándares y dimensionales. También se debe considerar requerimientos de servicio, y parámetros tales como: resistencia a la corrosión, facilidad de instalación, costo de suministro e instalación, costo de operación y mantenimiento, y vida útil de la tubería. Asimismo deberá tomarse en cuenta la capacidad hidráulica de la conducción.

2.2.14. Planificación de acción

Según Janet Shapiro (2010), la planificación de acción es el proceso que guía las actividades diarias de una organización o proyecto y determina sus necesidades, cuándo deben realizarse, quién debe hacerlas y qué recursos o aportaciones se necesitan. Corresponde al proceso de poner en práctica los objetivos estratégicos; por eso, también se llama planificación funcional. Cuando se presenta un plan de acción o un plan funcional como la base para una propuesta de recaudación de fondos o para la petición de un préstamo o para que otros compren, en un proceso o proyecto se suele hablar de “planes de negocios”.

La mayoría de los planes de acción consisten en los siguientes elementos:

- Una declaración de lo que se debe lograr (la producción o los resultados que surgen del proceso de planificación estratégica).
- Una explicación detallada de los pasos a seguir para lograr este objetivo.
- Algún tipo de horario para fijar cuándo se tiene que realizar y cuánto tiempo es necesario (cuándo).
- Una aclaración de quién será el responsable de asegurarse de que se complete correctamente cada paso (quién).
- Una aclaración de las aportaciones/recursos necesarios.

2.2.14.1. Producción

Janet Shapiro (2010), explica que la producción es la manifestación del éxito de las actividades realizadas, el cual se puede observar en los resultados. Por ejemplo, si un activista organiza una jornada de puertas abiertas para instituciones terciarias en su zona, entonces la producción sería “tener una jornada de puertas abiertas bien atendido”. La producción es aquello que resulta de las actividades en un área, donde el plan estratégico tiene éxito. Todas las producciones juntas deben conducir al logro de los objetivos expresados en la planificación.

Resulta útil realizar informes que muestren el nivel de desarrollo de las actividades. Esto proporciona información que permite tener control de los progresos, o lo que es lo mismo, sirve como indicador para poder evaluar la pregunta: ¿se están realizando las actividades planificadas y se están produciendo los resultados que se anticiparon?.

2.2.14.2. Plan de recursos humanos

Cuando se prepara un plan de acción, puede ser útil desarrollar un plan de recursos humanos. En ese plan se debe incluir:

- Necesidades del personal ya tratadas, personal adicional o apoyo necesario.
- Necesidades de desarrollo de la capacidad para permitir al personal realizar sus actividades.

Todo esto proporciona un resumen útil y ayudará a elaborar un marco temporal para las actividades planificadas. Asimismo, proporciona un resumen útil de las implicaciones del plan de acción en el ámbito de recursos humanos, que ayudará a ponerlo en práctica y será un punto de referencia útil para otros.

2.2.14.3. Duración

Existen dos aspectos con respecto a la duración en la planificación de acción:

- Cuándo hacerlo.
- Cómo planificar el tiempo necesario para realizar las actividades.

Se necesita realizar una planificación de acción como una extensión del proceso de planificación estratégica. La planificación de acción es algo que debe hacerse cuando se sabe lo que se quiere conseguir y se necesita un plan para explicar detalladamente las actividades necesarias para conseguirlo. Puede que se necesite realizar un plan para un taller en particular o planificar el trabajo de un departamento para los próximos tres meses; o bien, elaborar un plan de acción global de un proyecto y organización para un año.

Normalmente no es una buena idea realizar una planificación de acción detallada para más de un año. Los cambios en contexto, estrategia o razonamientos deben necesitar cambios a largo plazo. Cuando se planifica la duración necesaria, la clave normalmente es una secuenciación: hacer las cosas con un orden adecuado y asegurarse de que no existe retraso por algo que se debió haber hecho y que está retrasando todo el proceso. Por ejemplo, es mejor reservar el aula para realizar un taller antes de enviar las invitaciones y es mejor hacerse con las ilustraciones de una publicación antes de enviarla a la imprenta. Se debe consultar con la comunidad

después de haber decidido lo que se va a hacer en ella y no empezar a construir un dique antes de tener el informe del ingeniero.

2.2.14.4. Obtención de recursos

Los recursos que se necesitan para llevar a cabo un plan de acción incluyen a:

- Gente.
- Tiempo.
- Espacio.
- Equipo.

Esto significa dinero. El presupuesto resumirá los recursos financieros que se necesitan para realizar un plan de acción, pero no se puede preparar un presupuesto hasta que este último, no se encuentre establecido.

2.14.5. Planificación de actividades paso por paso

Las actividades son los pasos que se deben tomar para obtener los resultados que contribuirán al éxito de los objetivos de la organización o proyecto. Por lo tanto, el punto de inicio es lo que se desea lograr (el resultado deseado) y esto se descompone en pasos necesarios para conseguirlo. Estos pasos necesitan disponerse en una secuencia lógica y alguien debe tomar la responsabilidad de asegurarse que se cumplan. Asimismo, la organización o el proyecto necesitan estar seguro de que posee los recursos o los aportes necesarios.

2.2.15. Producción de azúcar

Conocer parte del proceso de fabricación de azúcar, permitirá comprender algunos procesos y equipos que son utilizados en el presente trabajo. En la figura 2.2 se esquematiza dicho proceso.

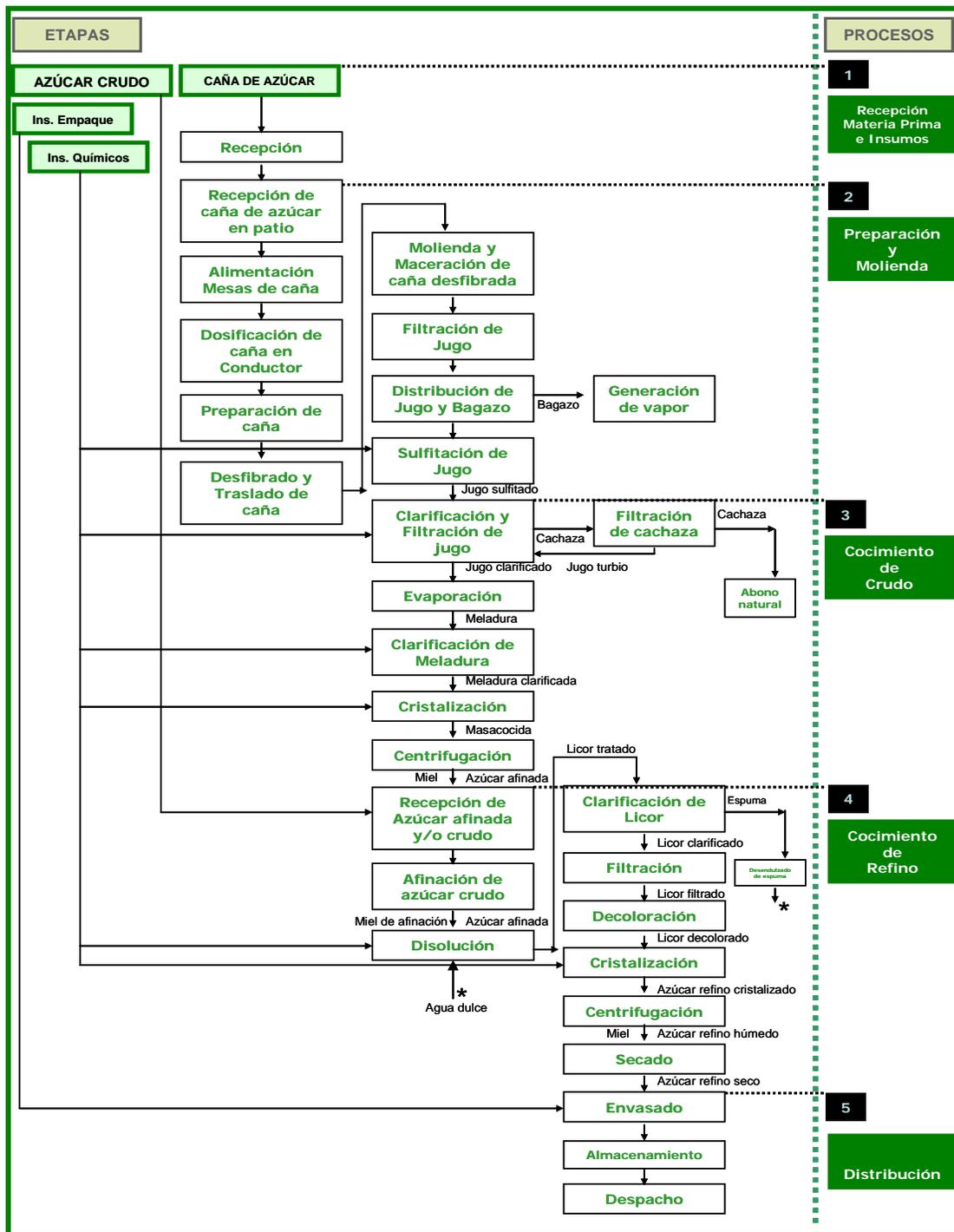


Figura 2.2 Proceso de fabricación de azúcar

Fuente: Central azucarero en estudio.

2.2.15.1. Preparación y molienda

Recepción de caña de azúcar: La caña de azúcar se recibe en camiones con guayas (provistos con caña larga, de cosecha manual), los cuales garantizan el 20% de la materia prima disponible; y en camiones Chainet (provistos con caña cortada en pequeños trozos de 20 a 30 cm aproximadamente, de cosecha mecánica) que garantizan el 80% de la materia disponible a ser procesada.

Alimentación de mesas de caña: El Central cuenta con 3 grúas, 2 grúas tipo Cameco (con capacidad para levantar 18 Tn) y 1 grúa tipo caballete (con capacidad para levantar 20 Tn), modificada para tal fin. Estas grúas levantan las cestas de los camiones que contienen la caña y las vacían en la cola de las mesas de caña. También, el Central cuenta con 3 mesas de caña para la alimentación o entrada de la materia prima. Durante este proceso se elimina parte de la materia extraña contenida en la caña, gracias a que las mesas de alimentación en el fondo están provistas de agujeros que garantizan que la caña pase al conductor lo más limpia posible y sin materia extraña.

Dosificación de caña en conductor: La caña colocada en las colas de las mesas de caña, es trasladada y dosificada a través de cadenas de arrastre, hasta el conductor número 1.

Preparación de caña: La caña ubicada en el conductor número 1 es trasladada a través de éste hasta el nivelador de caña para mantener una altura uniforme de alimentación a las cuchillas de corte, que desfibran el 67-70% de la caña para luego alimentar la desfibradora.

Desfibrado y traslado de caña: La caña preparada por las cuchillas pasa a la desfibradora, que debe garantizar de 90-92% de celdas abiertas, es decir, el rompimiento casi por completo de la médula del tallo de la caña; esta caña desfibrada es trasladada por un conductor de goma hasta el chute o donelly de alimentación del primer molino. En este proceso se tiene un electroimán que permite retener las partículas metálicas que contenga la caña desfibrada.

Molienda y maceración de caña desfibrada: El central cuenta con un tándem de 6 molinos, cada molino cuenta con 4 masas o rodillos, que se encargan de exprimir la fibra de la caña y extraer el jugo, resultado de este proceso se obtiene primeramente el jugo primario (materia prima para el azúcar refinado) y el bagazo (combustible para calderas). El jugo extraído de los 2 primeros molinos (jugo mezclado), pasa al filtro rotativo, y es enviado al tanque de guarapo, para luego ir al proceso de sulfitación, es decir, el jugo de estos 2 molinos no es macerado.

El jugo del 3er, 4to y 5to molino es macerado, es decir, se mezcla con alimentación de jugos o guarapos de otros molinos, con la finalidad de garantizar la mayor extracción de guarapo posible y la menor humedad en el bagazo para poder ser utilizado como combustible en las calderas. El jugo del 6to molino (jugo residual) se mezcla con agua caliente (65 °C) en contracorriente para ayudar a la extracción, que alcanza valores entre 94 y 96 % del azúcar contenida en la caña.

Filtración de jugo: La Filtración se hace en un filtro rotativo, primero se hace pasar por este el jugo extraído de los molinos 1 y 2, seguidamente se alimenta el filtro con el jugo del resto de los molinos por medio de la canal de alimentación del molino número 3.

Distribución de jugo y bagazo: Resultado de la filtración, se obtiene el jugo de caña, que se envía al tanque de guarapo para luego ser enviado a la etapa de Sulfitación, y el bagazo que es enviado hacia calderas para generación de vapor.

Sulfitación de jugo: El jugo es sometido a un proceso de purificación químico (sulfitación), haciendo pasar a través del jugo de caña, dióxido de azufre (SO₂) con el fin de reducir la carga microbiana que pudiera contener el jugo y además ayudar a bajar los niveles de color del mismo, obteniéndose en esta etapa el jugo sulfitado.

2.2.15.2. Cocimiento de Crudo

Clarificación y filtración de jugo: El jugo sulfitado (pH 4.8-5.2) proveniente de la molienda es sometido al proceso físico-químico de clarificación, que permite depurar el jugo de caña agregándole una solución de sacarato (cal+meladura+agua)

para alcanzar un pH de aproximadamente 6.4, seguidamente el jugo pasa a unos calentadores y se eleva su temperatura a 105-109 °C aproximadamente, a salir este jugo pasa al tanque flash, en donde se le retira el oxígeno contenido, disminuyendo su temperatura. Seguidamente, pasa a un clarificador, en donde en la entrada del mismo se agrega un polímero aniónico que permite la formación de flóculos, luego las impurezas, en forma de lodo, precipitan y el jugo claro (pH aproximado de 7) se extrae por la parte superior. A continuación, este jugo claro pasa por un filtro rotativo con una malla de orificios de 0,25 mm para retener el bagacillo más liviano que no pudo ser retirado durante la clarificación, luego este jugo colado pasa al proceso de evaporación.

Filtración de cachaza: El lodo o cachaza recuperada por el fondo del clarificador, en la etapa anterior, pasa al tanque conocido como cachazón y a los filtros de cachaza que operan al vacío, obteniéndose así el jugo turbio que es retornado al tanque de encalado para que siga el curso hacia la evaporación y resto del proceso de refinación, y la cachaza es devuelta al campo en camiones para ser usada como fertilizante y estabilizador de suelos.

Evaporación: El jugo colado obtenido en la etapa de clarificación y filtración de jugo a una concentración de 13-15 °Brix aproximadamente, pasa a unos recalentadores en donde se eleva la temperatura a 110-115 °C, luego se conduce a los evaporadores, donde comienza el proceso de evaporación, que tiene como objetivo eliminar cerca del 80% del agua, concentrando así el jugo, convirtiéndose en un jugo concentrado entre 65 y 68 °Brix, denominado meladura.

Clarificación de meladura: La meladura cruda proveniente de la etapa de evaporación aún contiene muchas impurezas, por lo que se somete a una nueva clarificación tratándola con ácido fosfórico, solución de cal, agua oxigenada, coagulante, floculante y aumento de temperatura. En esta clarificación las impurezas son removidas por la parte superior con un sistema de paletas y son enviadas al tanque de cachaza (cachazón), mientras que la meladura clarificada se recupera por la parte inferior de la clarificadora y se envía a los tachos de cocimiento.

Cristalización: La meladura clarificada pasa a los tachos de cocimiento de crudo donde continúa la evaporación de agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar, ya que al eliminar agua y agregar la semilla (alcohol+azúcar), el azúcar disuelto en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. En los tachos se obtiene una masa, denominada masa cocida, que es una mezcla de cristales de azúcar y miel.

Centrifugación: La separación de los cristales de azúcar y miel (masa cocida) se hace por centrifugación en las máquinas destinadas a esa labor. De las centrífugas se obtiene por un lado, azúcar afinada (materia prima para la fábrica del azúcar refinada) y miel. Ésta, se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los cocimientos, o templeas de tercera de las cuales en las centrífugas se obtiene la miel final, o melaza. El azúcar de tercera se utiliza para la cristalización del segundo cocimiento y, a su vez, el azúcar de segunda para el cocimiento de primera.

2.2.15.3. Cocimiento de Refino

Recepción de azúcar afinada y/o crudo: El azúcar afinada proveniente del primer cocimiento de la fábrica de crudo se recibe en la fábrica del azúcar refinada para ser disuelta e iniciar el proceso de refinación; así como también el azúcar crudo proveniente de otros centrales o importada llega en camiones a las tolvas de recepción de crudo de la planta, seguidamente son transportadas por un elevador hasta la romana y seguidamente conducidas a un gusano ó tornillo sinfín para su posterior afinación.

Afinación de azúcar crudo: El azúcar crudo proveniente de otros centrales, de origen nacional o importada, se mezcla con meladura con la ayuda de un gusano ó tornillo sinfín, obteniéndose así el magma de azúcar crudo que posteriormente pasa a las centrifugas, resultando de éstas por un lado, el azúcar afinada y por el otro la miel de afinación que se regresa a la fábrica de crudo para ser utilizada en la obtención de la masa primera. La afinación del azúcar crudo se hace con el objetivo de eliminar las

mieles que cubren el grano de sacarosa y dejarlo al descubierto para proseguir con el resto del proceso.

Disolución: Esta etapa consiste en disolver el azúcar con agua caliente y agua dulce proveniente de otras etapas del proceso, como el desendulzado de espuma (una vez disuelto el azúcar se le añade peróxido de hidrógeno), aplicando vapor directo en un tanque disolutor hasta preparar un licor disuelto que tiene entre 64 y 66 °Brix y una temperatura de 85 °C aproximadamente.

En este punto se adiciona sacarato para elevar su pH a 7, seguidamente el licor disuelto es pasado a través de filtros coladores con un tamiz de orificios de diámetro de 0.4 mm, este licor colado pasa por un sistema de calentadores para corregir la temperatura nuevamente a 85 °C y es enviado al tanque de reacción donde se le adiciona ácido fosfórico, sacarato (ajustando el pH a 7,4) y coagulante catiónico a la entrada del mismo, agregándole en la salida del mismo un coagulante aniónico y con la existencia de un aireador se mantienen las impurezas en suspensión. El licor que se obtiene del tanque de reacción se conoce como licor tratado el cual posteriormente será clarificado.

Clarificación de licor: El licor tratado entra a las clarificadoras donde son separadas las impurezas por flotación y el licor clarificado se extrae por la parte inferior de la clarificadora producto de la reacción química y la inyección del aire. En este punto se obtienen dos productos: la espuma de refinería, la cual pasa al desendulzado de espuma y el licor clarificado que pasará a la siguiente etapa (filtración).

Filtración de licor: El licor clarificado es pasado por tres filtros de lecho profundo colocados en paralelo, en donde se retienen las impurezas que no pudieron ser retiradas en la clarificación. Los filtros están provistos en su interior de gravas de diferentes tipos y carbón. Este licor conocido como pre filtrado pasará a los filtros de tierra infusoria, marca Metpor, donde se retienen todos los sólidos que no fueron retirados en las etapas anteriores.

Decoloración: El licor filtrado pasa por una serie de columnas, llamadas columnas de intercambio iónico o decoloradoras, provistas con resinas de carga

iónica, con la finalidad de retirar o atrapar todos los agentes coloidales presentes en el licor que no pudieron ser retirados en las etapas anteriores, obteniéndose así el licor decolorado.

Cristalización: El licor decolorado pasa a través de un concentrador de licor, en donde se concentra de 62-64 °Brix a 68-70 °Brix. Luego, el licor concentrado es entregado a los tachos de refino, en los que, al igual que en los de crudo, se elimina agua y se obtiene azúcar cristalizado tipo refino, con la adición de semilla (alcohol+azúcar) para favorecer la formación del cristal y homogeneizar el tamaño de los mismos.

Centrifugación: La separación del azúcar cristalizado tipo refino y la miel se hace por centrifugación en las máquinas destinadas a esa labor. De las centrífugas se obtiene por un lado, azúcar refinado húmedo y miel. El azúcar refinado proveniente de los dos primeros cocimientos cumple con las exigencias de la industria refresquera y las del tercero y cuarto cocimiento es destinada a otras industrias y para uso doméstico. La miel agotada producto de la elaboración de cuatro cocimientos es retomada al cocimiento de crudo para mezclarse con la meladura.

Secado: El azúcar refinado húmedo que se obtiene de las centrifugas se transporta por elevadores y bandas transportadoras para alimentar un secador de azúcar rotativo, en el cual el azúcar húmedo se pone en contacto con aire caliente que entra en contracorriente, obteniéndose así azúcar refinado a una temperatura de 50-55 °C que posteriormente pasa a enfriadores de bandeja con circulación de aire frío donde la temperatura baja entre 42-45 °C. Por último, el azúcar refinado seco es enviado a las tolvas de envase a través de cintas transportadoras.

Envase y almacenamiento: En esta área la azúcar refinada se empaca en diferentes presentaciones y se almacena en galpones para su posterior comercialización.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta parte se presenta el tipo de estudio y el diseño metodológico que se empleara, para cumplir con cada uno de los objetivos planteados en la investigación. Así como también se describen detalladamente las estrategias y métodos utilizados para tal fin.

3.1. Tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La estrategia a utilizar en búsqueda de encontrar soluciones fue de tipo investigación de campo, ya que se recolectaron datos de la realidad del momento. Como dice Carlos A. Sabino (1992) en su obra “El proceso de investigación” define la investigación de campo como: “el resultado del análisis sistemático de problemas con el propósito de descubrirlos, explicar sus causas y efectos. Entender su naturaleza, factores constituyentes o predecir su ocurrencia según el problema” (p.36). Esto muestra que se hace necesario estar en contacto para la toma de datos directos del sitio en estudio, y obtener la mejor de las visiones de la situación del proceso.

3.1.2. Nivel de la investigación

La investigación se sustentó en un estudio de tipo descriptivo, ya que el propósito del investigador fue estudiar la situación actual para de esta manera proponer alternativas permitan mejorar las condiciones que se presentan. Según Tamayo (2009), una investigación de tipo descriptiva, “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de una realidad, y la composición o procesos de los fenómenos” (p.52). Este estudio se efectúa cuando se desea describir, una realidad, haciendo referencia a los hechos observados sin ir más allá de su mera descripción.

3.2. Población

Tamayo y Tamayo (2000) “una población está determinado por sus características definitorias” (p.32). Por lo tanto, el conjunto de elementos que posean estas características se denomina o población o universo. La población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de población poseen una característica común la que se estudia y da origen a los datos de la investigación. Por tal motivo la población en esta investigación está constituida por el agua cruda que llega a la fábrica, además de las tuberías y equipos que la utilizan para su operatividad.

3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos

Según Arias (1998) la técnicas de recolección de datos son “las distintas formas o manera de obtener información” (P.55). A efecto de la presente investigación se utilizó como técnica la observación directa y la entrevista. Respecto a la observación directa, Tamayo y Tamayo (2000) la define como “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” (P.122).

Se usa la observación directa para recabar información, ya que el área en estudio requiere un detalle de las condiciones actuales de distribución de las tuberías. Según Arias (1998) la entrevista establece “la comunicación directa entre el encuestado y el investigador, lo que permite mayor confiabilidad en la información obtenida”. El uso de la entrevista como instrumento en este trabajo es utilizado, debido a que es la forma adecuada de recolectar información segura y directa del problema que se encuentra presente en el área de estudio.

3.4. Etapas de la investigación

Para el desarrollo de la investigación los pasos a seguir serán de acuerdo con los objetivos planteados, ordenándose en las siguientes etapas:

- Determinación de las características actuales.
- Generación de alternativas de mejora.

- Diseño esquemático de las alternativas.
- Selección técnico-económica de una alternativa.
- Elaboración de un plan de aplicación.

3.5. Desarrollo de la investigación

3.5.1. Determinación de las características actuales

Por medio de un personal encargado, se logra conocer el sistema de bombeo y distribución de agua, desde los pozos situados en los terrenos de siembra de caña de azúcar, hasta la zona de fabricación. El reconocimiento se hace en forma general, se recorre el proceso de producción de azúcar, se identifica el sistema actual de distribución de agua, medidores de flujo y equipos de consumo.

Para conocer las condiciones en las que se está suministrando agua al sistema de fabricación de azúcar, se realizó un muestreo del agua que es bombeada desde los pozos que se encontraban en funcionamiento, y en la entrada de la fábrica, como se indica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Puntos de muestreo de agua en los pozos y entrada de la fábrica.

PUNTOS DE MUESTREO	FRECUENCIA	EQUIPOS DE MUESTREO	TIPO DE ANÁLISIS
Entrada de fábrica	SEMANTAL	Envase de 500mL	Todos los parámetros
Pozo 13		Envase de 500mL	Todos los parámetros, menos cloro residual
Pozo 15		Envase de 500mL	
Pozo 1ª		Envase de 500mL	
Pozo Aguacatal		Envase de 500mL	
Pozo Trapichito		Envase de 500mL	

Luego de ser tomada las muestras fueron caracterizadas de según los parámetros indicados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Parámetros de medición para las muestras de agua de los pozos y la fábrica.

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	NORMA COVENIN UTILIZADA
pH	2462-87
Conductividad	3050-93
Cloro residual	2685-90
Hierro	2120-84
Dureza	2771-91
Alcalinidad	2188-84
Sólidos suspendidos	2461-87
Análisis microbiológico	2409-86

Determinación de pH: se realiza con el equipo Manna Instrument pH 211, sumergiendo el electrodo en una solución de pH conocida para ser calibrado el equipo, se toman 25 mL de la muestra de agua y se sumerge nuevamente el electrodo para registrar el valor leído.

Conductividad: al igual que el pH se calcula la conductividad, la medición se realiza sumergiendo el electrodo del equipo Metrohm 712 Conductometer, en una alícuota de la muestra.

Cloro residual y hierro: la medición se realiza con el equipo Hach DR 2800, consistió en agregar el reactivo 21055-69 y 21057-09 para cloro y hierro respectivamente, en un recipiente especial para ello, donde solo se logra tomar 10mL de la muestra, se agitó con fuerza, y se introduce el recipiente en el equipo. Mediante al menú se selecciona la medición deseada y se registró el valor leído.

Dureza: se determino por medio de la valoración con EDTA a 0,01 M, a una alícuota de 50mL de la muestra, utilizando negro de eriocromo en polvo y un buffer de pH 10 de amoniaco-cloruro de amonio, hasta el punto de equivalencia.

Alcalinidad: por medio de los indicadores de naranja de metilo, fenolftaleína y ácido sulfúrico 0,02N como titulante, realizando la valoración para cada indicador, esperando para la fenolftaleína un color rosado, y para el naranja de metilo una coloración violeta en el punto de equivalencia.

Sólidos suspendidos: para los sólidos suspendidos se hace pasar una alícuota por un filtro a vacio, donde previamente este filtro fue pesado para luego determinar por diferencia de peso la cantidad de sólidos retenidos en ella.

Análisis microbiológico: la microbiología quedo a cargo del personal del laboratorio de control microbiológico del central azucarero, donde por medio de la metodología que dicta el ICUMSA (Comisión Internacional para los Métodos Uniformes de Análisis del Azúcar) realizaron las mediciones y publicaron los valores.

Se estudió todo tipo de material que se encontró en existencia, referente a planos y diagramas de la fábrica, así como también los equipos que tienen un consumo en el sistema de tuberías de agua cruda, para luego recorrer las tuberías dentro de la planta y realizar el diagrama de flujo del agua. Para la realización del diagrama de flujo del sistema de tuberías se planteo el siguiente procedimiento:

- Observación del sistema del proceso de fabricación.
- Determinación de la distribución de tuberías principales del sistema.
- Identificación de los equipos, accesorios presentes en el sistema.
- Determinación de las longitudes y diámetros nominales de todas las tuberías presentes en el sistema.
- Recolección de información sobre el material de las tuberías.
- Elaboración del diagrama de flujo de tuberías del sistema.

Después de identificar de forma detallada la distribución de las tuberías y los equipos de consumo dentro de la fábrica, tanto los que tienen un consumo continuo, como los equipos con consumos discontinuos, se realizan los balances de masa para conocer el caudal de trabajo en los siguientes volúmenes de control:

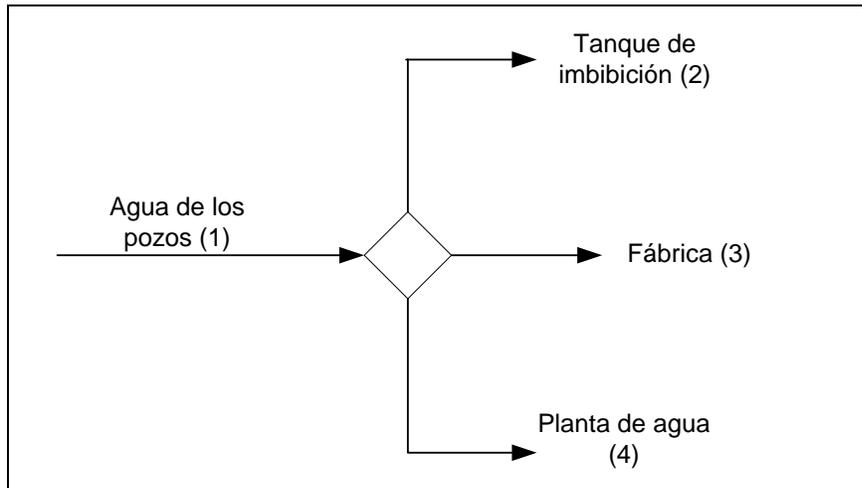


Figura 3.1. Distribución del agua que viene de los pozos.

El caudal proveniente de los pozos se registró por medio de un medidor de flujo digital conectado a la línea principal, y el caudal de planta de agua se calculó según la capacidad de consumo que esta tiene. Para conocer el caudal hacia el tanque de imbibición se realiza el siguiente balance:

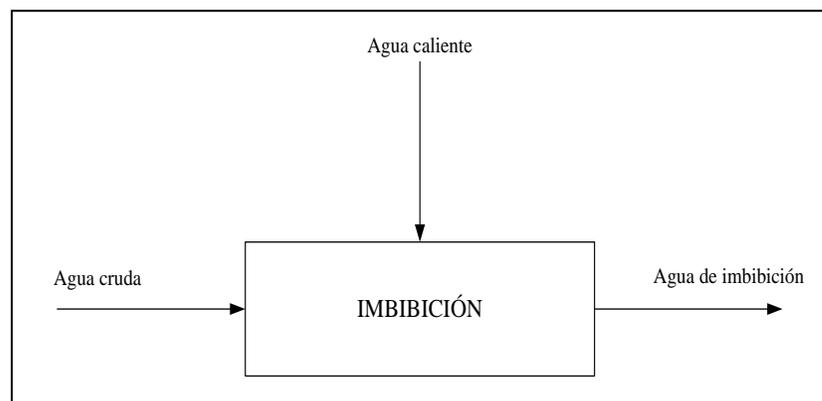


Figura 3.2. Volumen de control para el cálculo de agua cruda utilizada en la imbibición.

El caudal que queda por diferencia es el caudal suministrado a la fábrica. Algunos de los caudales de consumos en los equipos dentro de la fábrica fueron determinados mediante el método de volumen-tiempo, estos son:

- Desendulzadoras.
- Centrifugas de tercera.
- Clarificadora de meladura.
- Gusanos de magma.
- Cristalizadores.
- Calentadores.
- Tanque de sacarato para crudo.
- Piscinas aniónicas.

El consumo de agua en los cuerpos de evaporadores se determinó mediante el cálculo de su volumen, y por medio del conocimiento del ritmo de mantenimiento de estos equipos se calcula su consumo. Mediante balances de masa y energía realizados en volúmenes de control reducidos, se determinó el requerimiento del sistema, y el cabezal disponible por la bomba que se encuentra instalada en el tanque 2.

3.5.2. Generación de alternativas de mejora

Para la generación de las alternativas de mejoras se utilizó como metodología la tormenta de ideas. Sacristan (2009), comenta que es necesario reconocer que los operarios, sea cual sea su categoría o responsabilidad, son conscientes y conocen los problemas que afectan a la calidad de su trabajo y de todo lo que envuelve a éste. Se intentó desarrollar todas las características que abarca la realización de dicha herramienta:

- Tiene que afectar a un grupo de entre 6 a 12 personas (Sacristán, 2009).
- El problema a analizar y resolver es conocido y comprendido por todos los miembros del grupo (Sacristán, 2009).
- Se anotan todas las ideas (Sacristán, 2009).
- Cada miembro del grupo recibe idéntica oportunidad de expresión (Sacristán, 2009).
- Se estimulan por igual todas las ideas o sugerencias, sean buenas o malas (Sacristán, 2009).
- Es imprescindible un líder que dirija la reunión para mantener la misma atención entre los miembros del grupo ante el problema elegido (Sacristán, 2009).

La participación adecuada del ingeniero de procesos, de tres operarios, donde dos de ellos tienen jornadas nocturnas, un supervisor de mantenimiento y un personal del departamento de ingeniería, participaron en la generación de alternativas, brindando grandes aportes con sus experiencias y conocimientos de los problemas presentes en la fábrica.

3.5.3. Diseño esquemático de las alternativas

Para las diferentes alternativas planteadas se realizó un desglose de todas las características que envuelve cada propuesta; equipos, tipo de tubería y accesorios, ya conocidas las partes que componen cada alternativa, se obtienen los costos asociados y se verifican algunas condiciones de operación por medio de balances de energía.

Finalmente se realizaron los diagramas que representan a las alternativas planteadas, donde se visualizan los posibles cambios que podrían mejorar al sistema de distribución de agua actual dentro de la fábrica.

3.5.4. Selección técnico-económico de una alternativa

En esta parte se describe el análisis realizado a cada una de las alternativas, estableciendo una ponderación en un rango de valores de [0–10] siendo cero el límite inferior para la condición menos favorable, y diez el límite superior para la condición más favorable a ciertos factores comparativos, los valores son basados en el criterio del grupo de trabajo. Los factores son los siguientes:

- Utilización de los equipos instalados en la actualidad.

Aquí se tomaron en cuenta si existen equipos que serán retirados y reemplazados por otros en mejor estado, o equipos que van a permanecer en su uso debido a que sigue siendo necesaria su operatividad.

- Accesibilidad de los equipos.

En caso de que exista la aplicación de algún tipo de tecnología o reemplazo de alguna ya existente; en esta parte se estudió si esos equipos se encuentran disponibles en el mercado local.

- Costos de instalación.

Para cada alternativa se tomo en cuenta la inversión que se debe realizar, se estudia la utilización de equipos en desuso, y así disminuir los costos por adquisición de nuevos equipos.

- Mantenimiento.

El mantenimiento que deba realizarse es de suma importancia, el tiempo y los recursos que se deban invertir para encarar cualquier situación que pueda presentarse en el tiempo, debido al deterioro o desgaste de los equipos.

- Operatividad.

Se discutieron las ventajas y desventajas que proporciona la nueva forma de operar de cada alternativa, se toman en cuenta la seguridad y posibles riesgos que afecten al proceso productivo.

Al asignar la ponderación, se multiplico por un valor de peso que esta tenga y se realiza la sumatoria final de cada uno de los criterios. El resultado obtenido en cada matriz se baso en la comparación de la sumatoria final, donde aquella que presentó la mayor puntuación indica el mayor beneficio a la hora de ser empleada. Los valores de peso otorgados a cada uno de los factores fue el siguiente:

- Utilización de los equipos instalados en la actualidad: 1,5
- Accesibilidad de los equipos se le otorga: 1,5
- Costos de instalación: 2,5
- Mantenimiento: 2,0
- Operatividad: 2,5

3.5.5. Elaboración de un plan de aplicación

El programa de implementación se presenta como una guía, que será material de apoyo para la ejecución de o las alternativas seleccionadas, de así desearlo la empresa. Con reuniones con el personal de mantenimiento y el departamento de ingeniería se establecieron actividades y tiempos de trabajo de las mismas, responsables y herramientas o recursos para su ejecución. Las actividades son descritas en el formato propuesto en el programa Microsoft Project 2007.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y los análisis de los mismos, en el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación.

4.1. Determinación de las características actuales

El agua que es utilizada en la empresa en estudio es proveniente de fuentes naturales; mediante un sistema de bombeo es suministrada a un tanque principal, de donde es rebombada hacia una zona urbana y al proceso productivo. La tubería principal al llegar a la fábrica, es dividida en dos tramos, uno hacia una zona llamada planta de agua, y otra al proceso de fabricación de azúcar.

Para conocer las condiciones en las que se suministra el agua al sistema de fabricación, se realizó un muestreo del agua de cada pozo tal como se observó en el capítulo anterior, se estableció una toma de muestra semanal. A causa de las frecuentes lluvias que se sucedieron en la zona, muchos pozos fueron inaccesibles para realizar la muestra, dado que se crearon caminos de fango, lo que dificultó introducirse hacia ellos.

El proceso de recolección se llevó a cabo bajo la metodología establecida por la Norma Covenin 2614-94. “Agua potable. Toma de muestra”, en su sección de toma de muestra para el análisis físico-químico y microbiológico de pozos de agua. Se procedió a la toma de muestras según el plan, y posteriormente a realizar las pruebas físico-químicas en los laboratorios de la empresa, la prueba microbiológica fue realizada por el analista del laboratorio de microbiología.

Los resultados que se muestran en las tablas 4.1 a la 4.7, reflejan las condiciones actuales del agua que se utiliza en el proceso productivo, donde la condición en común entre algunas de las semanas, es que en días anteriores a la recolección se presentaron fuertes precipitaciones en las zonas donde se encuentran los pozos de agua.

Tabla 4.1. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la primera semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) µs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	8,16	1,155	372	416
Pozo 13	6,96	1,044	212	416
Pozo 15	6,84	1,363	460	406
Pozo 1A	7,00	1.226	412	414
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	7,12	0,923	316	420

Tabla 4.1. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la primera semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,19	0,14	1,3	Ausente
Pozo 13	0,09	---	1,3	13
Pozo 15	0,09	---	1,2	Ausente
Pozo 1A	0,10	---	1,1	Incontables
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	0,07	---	1,2	14

Tabla 4.2. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la segunda semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) μs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	7,40	1,202	460	414
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	7,54	1,413	400	410
Pozo 1A	7,17	1,277	406	416
Pozo Aguacatal	7,34	0,989	330	376
Pozo Trapichito	7,14	0,995	320	390

Tabla 4.2. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la segunda semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,37	0,30	1,3	Ausente
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	0,19	---	1,2	Incontables
Pozo 1A	0,23	---	1,9	Incontables
Pozo Aguacatal	0,17	---	1,1	12
Pozo Trapichito	0,15	---	1,2	Incontables

Tabla 4.3. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la tercera semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) µs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	7,39	1,199	440	346
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	7,49	1,439	420	346
Pozo 1A	7,20	1,295	400	358
Pozo Aguacatal	7,27	1,002	360	312
Pozo Trapichito	7,35	1,012	336	350

Tabla 4.3. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la tercera semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,16	0,33	1,3	Ausente
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	0,15	---	1,2	25
Pozo 1A	0,13	---	1,2	21
Pozo Aguacatal	0.30	---	1,3	9
Pozo Trapichito	0,10	---	1,3	20

Tabla 4.4. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la cuarta semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) µs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	7,33	1,184	472	346
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	7,45	1,366	540	346
Pozo 1A	7,24	1,252	500	350
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	7,40	0,961	372	346

Tabla 4.4. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la cuarta semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,18	0,25	1,3	Ausente
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	0,10	---	1,3	4
Pozo 1A	0,15	---	1,2	13
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	0,10	---	1,2	17

Tabla 4.5. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la quinta semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) $\mu\text{s/cm}$	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	8,1	1,158	385	411
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	7,04	1,283	450	420
Pozo 1A	7,40	1	420	410
Pozo Aguacatal	7,12	1,001	325	365
Pozo Trapichito	7,52	0,923	313	419

Tabla 4.5. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la quinta semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,17	0,31	1,2	Ausente
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	0,1	---	1,1	Ausente
Pozo 1A	0,10	---	1,2	Ausente
Pozo Aguacatal	0,17	---	1,1	Ausente
Pozo Trapichito	0,09	---	1,2	12

Tabla 4.6. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la sexta semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) µs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	8,30	1,055	390	421
Pozo 13	6,66	1,144	262	418
Pozo 15	6,45	1,354	420	401
Pozo 1 ^a	7,12	1,376	372	411
Pozo Aguacatal	7,10	1,112	305	388
Pozo Trapichito	7,22	0,903	312	425

Tabla 4.6. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la sexta semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,14	0,43	1,2	Ausente
Pozo 13	0,09	---	1,2	Ausente
Pozo 15	0,09	---	1,2	Ausente
Pozo 1A	0,12	---	1,1	Ausente
Pozo Aguacatal	0,09	---	1,1	Ausente
Pozo Trapichito	0,08	---	1,2	Ausente

Tabla 4.7. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la séptima semana

Punto de muestreo	pH (pH±0,01)adim	Conductividad (Cond±0,001) µs/cm	Dureza (D±1) ppmCaCO ₃	Alcalinidad (M±1) mg/L
Fabrica	8,46	1,365	410	396
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	6,94	1,213	450	346
Pozo 1A	7,55	1,336	398	394
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	7,15	1,023	366	420

Tabla 4.7. Caracterización del agua de los pozos y la entrada a la fábrica en la séptima semana (continuación)

Punto de muestreo	Hierro (Fe±0,01)mg/L	Cloro residual (Cl±0,01) mg/L	Sólidos suspendidos (SS±0,1) mg/L	Coliformes totales (Colif±1) UFC/10g
Fabrica	0,19	0,32	1,4	Incontables
Pozo 13	---	---	---	---
Pozo 15	0,10	---	1,3	Incontables
Pozo 1A	0,09	---	1,2	Incontables
Pozo Aguacatal	---	---	---	---
Pozo Trapichito	0,08	---	1,2	Incontables

La recolección en la primera semana, refleja la presencia de coliformes en el agua, en esta primera toma el pozo aguacatal se encontraba fuera de servicio. La ejecución de la misma en el pozo trapichito trajo consigo un problema de acceso, la llave de la puerta de seguridad se encontraba extraviada; la práctica incomoda de la recolección de la muestra en este pozo, no asegura nada acerca de los valores encontrados en ella, especialmente en la prueba microbiológica.

La fuerte presencia de coliformes en las primeras semanas, la cual es factor común en el estudio realizado, se afianza con las lluvias ocurridas en la región, los cuerpos de aguas más importantes del estado de Aragua se encuentran conectados con los pozos que suministran el agua a la central azucarera. Las lluvias arrastran consigo contaminación existente en los suelos hacia estos cuerpos de agua, las cuales se filtran entre la corteza de la tierra.

En las semanas 5 y 6 es evidente la no existencia de coliformes en las muestras, esto está acompañado de ausencia de las lluvias entre el comienzo de la semana 4 hasta la semana 6, los canales de agua se encontraban lejos del contacto de la contaminación de los suelos producidos por las poblaciones adyacentes.

La ausencia de datos de algunos pozos, como el 13 y aguacatal, se debió a que los caminos hacia ellos estaban cubiertos de fango, formado por las fuertes lluvias, lo dificultó e impidió el paso y la toma de datos.

Esta agua puede ser hervida para luego ser consumida, ya que no hay presencia de coliformes termorresistentes (coliformes fecales). La empresa realiza el transporte de tambores con hipoclorito hacia el tanque de rebombeo, este químico es utilizado para potabilizar el agua que llega de los pozos. Hay que tener presente que no se puede descuidar el suministro del hipoclorito, ni descuidar el funcionamiento de la bomba de este químico, ya que la lluvia es un factor determinante en la contaminación de la fuente de agua y esta debe permanecer ausente de coliformes a la entrada de la fábrica, tal como lo expresó en las tablas 4.1 a la 4.7.

Los valores fisicoquímicos de las muestras en todas las semanas se muestran dentro de los valores establecidos, la dureza en estos cuerpos de aguas es elevada, lo cual es normal para estas aguas de pozos, aun así se encuentra entre los parámetros

exigidos. Aun cuando puede ser consumida esto repercute en la cantidad de productos que se deben utilizar para tratar el agua: el agua es tratada para ser utilizada en la preparación de productos químicos, y una gran parte en la generación de vapor utilizando el 80% del agua que se suministra hacia planta de agua.

Otro uso importante de este vital líquido se manifiesta en los periodos de zafra, ya que se mezcla agua fría proveniente de los pozos con agua caliente derivada de la condensación de vapor de agua de los separadores flash, que se encuentran en el proceso productivo. Esta agua reduce su temperatura para poder realizar la mayor extracción posible de juego de caña, contenido aun en los restos de la caña de azúcar molida.

En lo referente al acceso a la planta el personal de ingeniería suministro los planos necesarios para el reconocimiento de las instalaciones dentro de la fábrica, así como también el diagrama del sistema de tuberías de agua. Los diagramas fueron revisados con los ingenieros de la planta y se realizó una inspección comparativa detallada de todo el sistema de tuberías dentro de la fábrica.

El estudio del sistema de tuberías para el agua se realizó recorriendo cada tramo del sistema, identificando diámetros nominales, longitudes y accesorios. Los planos suministrados fueron realizados muchos años atrás, y presentaban ciertas desactualizaciones en algunos puntos de la fábrica, tales como, bypass, uno de ellos colocado en el tanque de imbibición.

Las tuberías actualmente se presentan de manera general en buen estado de operación, solo pequeños tramos presentan corrosión, algunos tramos de tubería se encuentran en desuso y pudieran ser removidos, pero solo para recuperar accesorios como válvulas y codos, ya que muchos metros de estas tuberías manifiestan un mal estado para operar, siendo evidente que llevan muchos años fuera de servicio.

Actualmente un sistema de tanques recibe el agua proveniente de los pozos, bombeando así a todo el sistema productivo, tal como se aprecia en la figura 4.1. El suministro del agua hacia el tanque 2, es producto del rebose del tanque 1; esto genera una fuerte condición de dependencia del tanque 2, el cual cuenta con una mayor capacidad de almacenamiento.

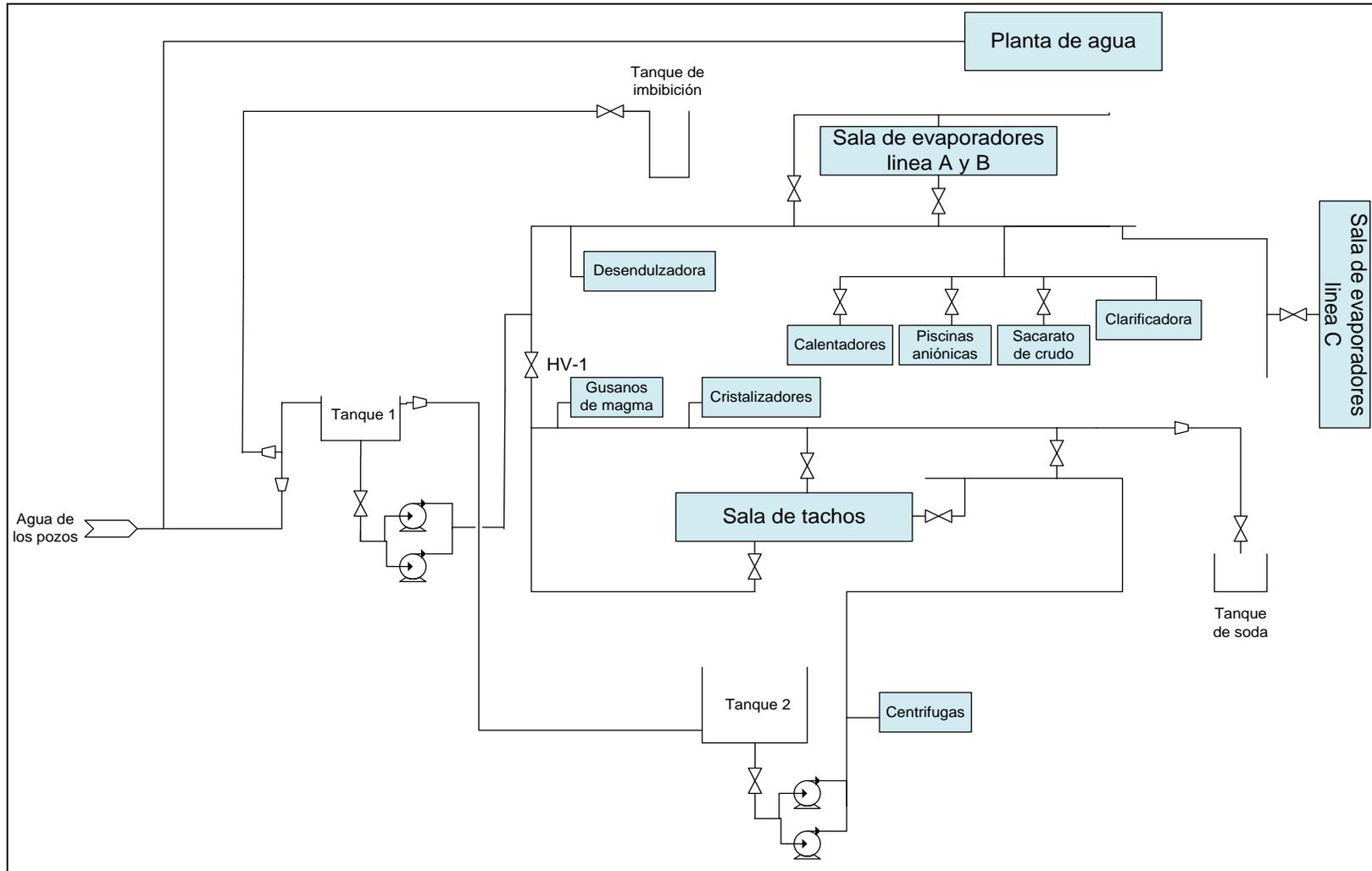


Figura 4.1. Diagrama de flujo del agua en el sistema productivo.

Los sistemas de bombeo del tanque 1 y 2 se utiliza muchas veces de forma independiente, cerrando la válvula HV-1, esto se realiza para que el agua que suministra el tanque 2 solo alimente a la sala de los tachos en el momento de realizar el mantenimiento a estos equipos, y el agua del tanque 1 solo alimente el lavado de los evaporadores y calentadores.

En la investigación se establecieron conversaciones con los ingenieros de proceso y operarios; por sus experiencias se sabe que muchas veces el tanque 2 presenta un nivel de agua muy bajo debido a la fuerte dependencia con el tanque 1, ya que este debe permanecer completamente lleno, esto origina que se ordene muchas veces a detener el sistema de molino de caña de azúcar.

El molino al ser detenido, conjuntamente con el proceso de imbibición, permite un mayor caudal hacia el tanque 1, generando rápidamente un mayor rebose hacia el tanque 2. Como puede observarse en la figura 4.1, el sistema de imbibición es el primero en recibir el agua proveniente de los pozos.

La zafra en el curso de la investigación fue muy problemática, debido a la escases de materia prima; esto llevó a que el proceso productivo no trabajara a toda su capacidad, permitiendo que el suministro del agua fuera muy favorable y no permitió verificar de forma experimental lo dicho por los ingenieros y operadores de la planta.

En la tabla 4.8 se pueden apreciar los caudales que se manejan en la entrada de la fábrica, el caudal total coincide con la capacidad de flujo que se maneja entre todos los pozos de agua, según lo suministrado por la empresa en la tabla 4.9.

Tabla 4.8. Caudales de trabajo en la línea principal que llega de los pozos

Caudales de trabajo (L/s)	
Entrada	102
Planta de agua	34,5
Imbibición	10,57
Fábrica	56,53

Tabla 4.9. Caudales de agua cruda en cada uno de los pozos

Pozo	Caudal (L/s)
1A	21
10A	19
13	8
15	26
Aguacatal	8
Trapichito	25
Capacidad total	107

Los caudales proporcionados por los pozos son estudiados cada 6 meses, o con una menor frecuencia dependiendo de la existencia de alguna falla en el suministro del caudal. La constante revisión permite la comparación de los niveles estáticos y dinámicos del pozo, datos que son de suma importancia a la hora de verificar el tiempo de vida útil del mismo.

Existe una diferencia de 5 L/s, la cual corresponde al caudal que se va a hacia un tanque que alimenta la zona urbana. Durante la investigación se registraron caudales que superaban al caudal promedio que llegaba a la fábrica, así como también caudales menores a los 90 L/s; es importante resaltar que estos caudales sufren constantemente fluctuaciones producto de algún tipo de mantenimiento que presenten los pozos.

El agua que es bombeada desde los tanques en la fábrica es distribuida entre una gama de equipos en todo el sistema productivo, entre ellos tenemos por ejemplo el tanque de sacarato para crudo, el cual utiliza el agua para homogeneizar una solución de cal mas meladura, que permite lograr un pH de aproximadamente 6,4 de del jugo de caña previamente tratado con hidrosulfito.

En las clarificadoras de espuma el agua juega un papel importante, ya que sirve para solubilizar la espuma que es producida, la cual se le extrae

nuevamente el azúcar que esta ha absorbido. El agua no solo tiene un papel importante en la fabricación de azúcar, también lo tiene en el mantenimiento de los equipos de calentamiento y evaporadores, así como todo el trabajo de limpieza de las áreas, las cuales deben realizarse con agua para la remoción y mejor manejo de residuos. Todos estos valores se encuentran en la tabla 4.10:

Tabla 4.10. Consumo de agua en diversos equipos dentro de la fábrica

Caudales de consumo de equipos en la fábrica (L/D)	
Tanque de sacarato para crudo	27168
Piscinas de floculante aniónico	60579
Tanque de soda para evaporadores y calentadores	9130
Tanques de hidrosulfito	405
Tanque de ácido fosfórico	212
Clarificador	57340
Desendulzadora	145876
Cristalizadores	165019
Limpieza de evaporadores y calentadores	594870
Centrifugas de tercera	49890
Gusanos de magma	75867
Otros consumos	57258

Entre los caudales de consumo que se presentan dentro de la fábrica se tiene que el consumo de agua más elevado se presenta en el mantenimiento del sistema de evaporadores y calentadores. El lavado de estos equipos es el mayor problema en periodo de zafra, ya que resulta difícil cumplir con los tiempos de lavado, debido a la insuficiencia de agua a la hora de realizar el mantenimiento. Este trabajo en los evaporadores en épocas de zafra se realiza todos los días durante 25 semanas, se

trabajan 3 evaporadores y un calentador diario, a cada evaporador se le efectúa 6 enjuagues, siendo un total de 18 enjuagues por día. Esta operación es de vital importancia para mantener la calidad del producto final, su operación debe ser lo más rápida posible.

Entre otros equipos con mayores consumos se tiene también los cristalizadores, los cuales utilizan el agua con el doble propósito de disolver y enfriar la meladura para propiciar la formación de cristales al momento de su evaporación en los tachos, y las desendulzadoras que deben disolver la mayor cantidad de espuma, ya que en ella se encuentra una buena cantidad de azúcar que aun puede ser recuperada. En las desendulzadoras no existe un control en el suministro del agua, las válvulas de descarga son dejadas abiertas sin ningún tipo de criterio, dando como resultado una mala utilización del vital líquido.

También existen consumos incuantificables durante el día, y estos se deben al proceso de limpieza continua que se presentan dentro de la fábrica. Luego de la culminación de la zafra se evaluó el sistema de bombeo del tanque 2, dando como resultado que la bomba puede aportar con cabezal de 47,41m, y un caudal de salida de 77,56L/s, esto se realizó estando el tanque 2 en su máxima capacidad y utilizando solo este sistema de bombeo para alimentar a la fábrica.

4.2. Generación de alternativas de mejora

Se desarrollaron utilizando la herramienta de tormenta de ideas, siguiendo de forma sistemática las características de dicha herramienta:

- Tiene que afectar a un grupo de entre 6 a 12 personas

Se creó un equipo de trabajo, seleccionando a las personas con mayor conocimiento de los problemas existentes, y capaces de generar soluciones, entre ellos se encuentra el ingeniero de procesos, tres operarios, un supervisor de mantenimiento y un personal del departamento de ingeniería. Todos con experiencias tanto en el turno de día como en el turno de la noche.

- El problema a analizar y resolver es conocido y comprendido por todos los miembros del grupo.

Afianzados en los resultados, y las experiencias de cada uno de los integrantes, se establece que existe la prioridad de controlar el suministro del agua hacia la fábrica. Un control del suministro del agua permita una mejor utilización del vital líquido, lo que mejoraría los tiempos de mantenimiento de los cuerpos de evaporadores y calentadores, los cuales presentan el mayor problema durante la zafra.

- Se anotan todas las ideas y cada miembro del grupo tiene recibe idéntica oportunidad de expresión.

Las ideas propuestas se enfocaron en los cambios de tuberías, así como también en la instalación de dispositivos de control, como controladores de nivel y válvulas automáticas. Después de expresar todas sus inquietudes y sugerencias, el equipo de trabajo decide que se deben considerar las siguientes alternativas, las cuales pueden lograr lo que se desea:

Alternativa 1: El tanque 1 debe ser dependiente del tanque 2.

Alternativa 2: Reubicar el suministro de agua cruda del tanque de imbibición.

Alternativa 3: El tanque 2 será el único que alimentara a la fábrica.

4.3. Diseño esquemático de las alternativas

En esta parte se describen las condiciones de operación de cada alternativa. Las dimensiones de los equipos, accesorios, así como también sus costos se encuentran reflejados en las tablas respectivas a cada a alternativa:

Alternativa 1: El tanque 1 debe ser dependiente del tanque 2.

Para crear la dependencia del tanque 1 se debe eliminar el rebose y conectar con la línea principal, de esta forma el suministro del agua será de forma directa hacia el tanque 2. De la línea de los tachos se realiza la conexión de una tubería hacia el tanque 1, junto con un controlador de nivel en dicho tanque, acoplado a una válvula

automática se podrá mantener un suministro adecuado de agua evitando el rebose o la falta del mismo. Los cambios se pueden apreciar en la figura 4.2.

Tabla 4.11. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 1.

Alternativa	Materiales necesarios	Costo de adquisición (Bs)
El tanque 1 debe ser dependiente del tanque 2	2 codos de 90° de 12" 1 reducción de 14 a 12 " 4 metros de tubería de 12" 1 codo de 90° de 6" 1 válvula de control de nivel 4" 5 m de tubería acero de 6"	20783,31

Alternativa 2: Reubicar el suministro de agua cruda del tanque de imbibición.

Aquí se propone reubicar la descarga que actualmente se encuentra instalada hacia el tanque de imbibición, haciendo que su suministro dependa del caudal que proporciona el tanque 2, canalizando todo el caudal hacia dicho tanque tal como se muestra en la figura 4.3. Es importante resaltar que esta propuesta lleva consigo todas las características mencionadas en la alternativa 1. Esta alternativa hace que el agua se suministre como hacia un solo sistema productivo.

Tabla 4.12. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 2.

Alternativa	Materiales necesarios	Costo de adquisición (Bs)
Reubicar el suministro de agua cruda del tanque de imbibición	2 codos de 90° de 12" 1 reducción de 14 a 12" 4 metros de tubería de 12" 6 codo de 90° de 6" 1 válvula de control de nivel 4" 18 m de tubería de acero de 6"	25440,8

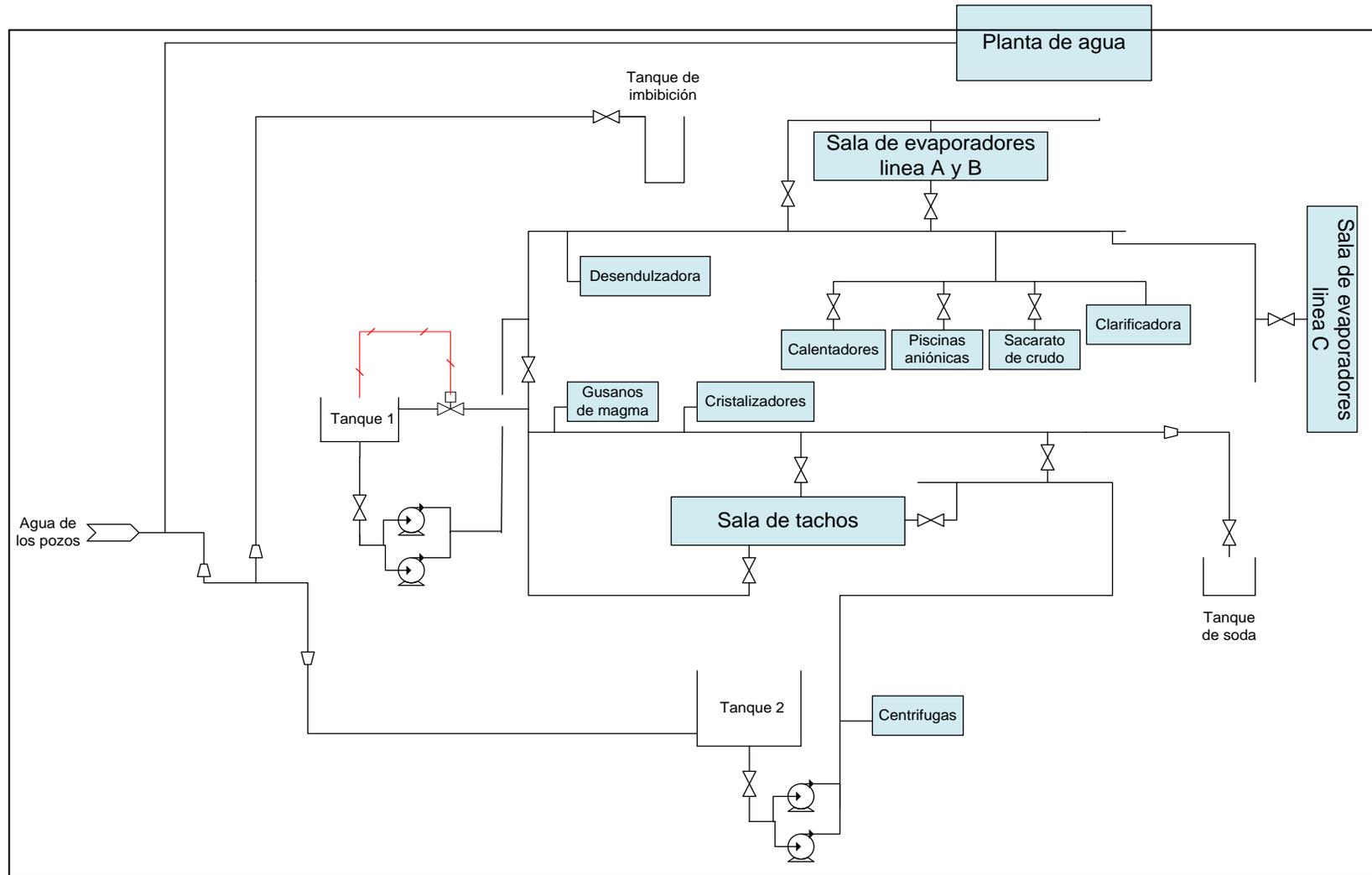


Figura 4.2. Diagrama de flujo del agua para la alternativa 1.

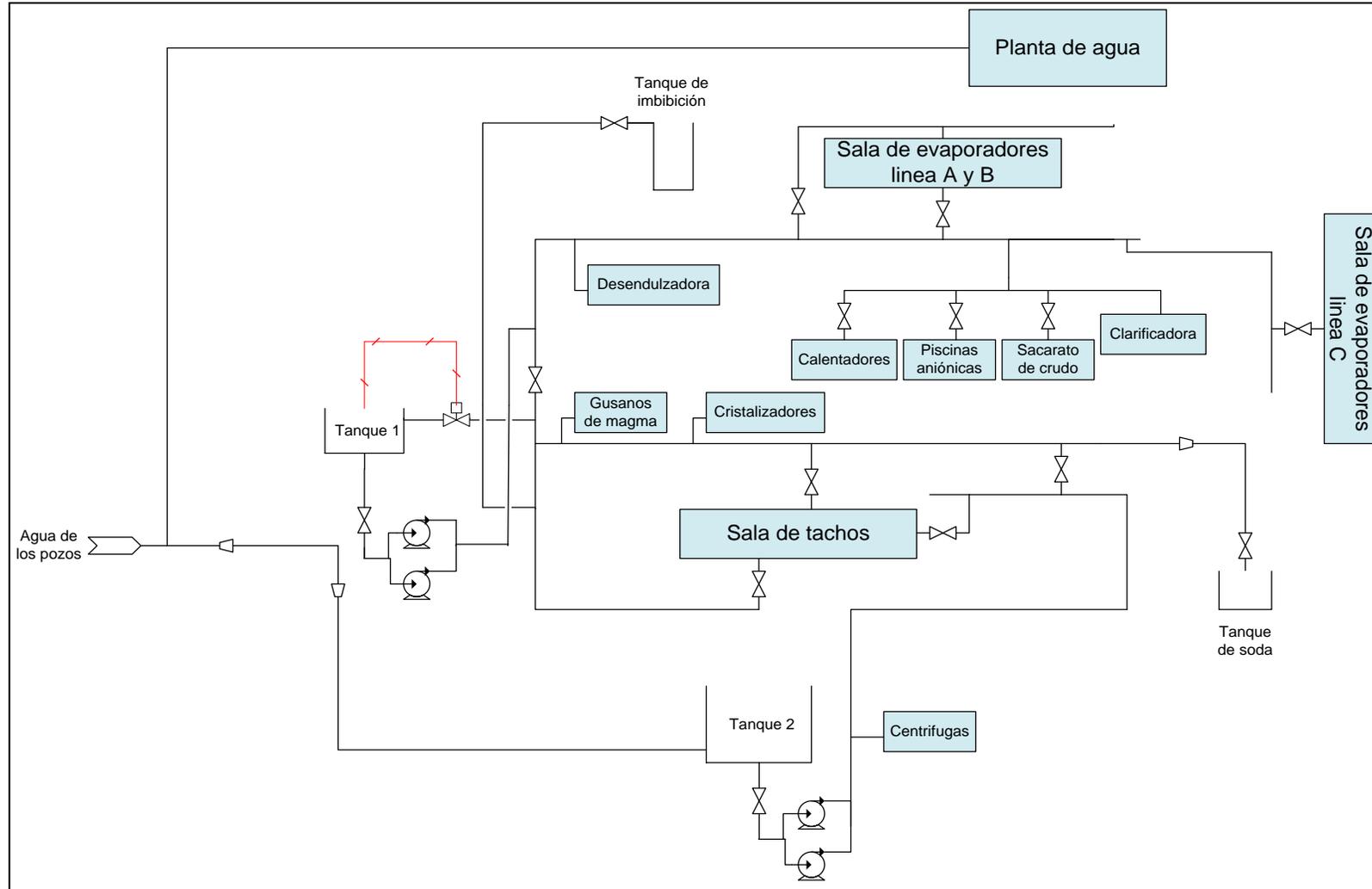


Figura 4.3. Diagrama de flujo del agua para la alternativa 2.

Alternativa 3: El tanque 2 será el único que alimentara a toda la fábrica.

Se elimina el tanque 1 y se conecta el suministro de agua de forma directa hacia el taque 2. Esta alternativa debe estar acompañada de una estricta supervisión a la hora de realizar el mantenimiento a los cuerpos de evaporación y calentadores, dado que al realizar el enjuague en los tachos se producen fuertes caídas de presión en la línea; la razón de estas pérdidas de energía es debido a que estos equipos operan a presiones de vacío, creando una fuerte succión del agua en la tubería. El sistema propuesto se puede apreciar en la figura 4.4.

Tabla 4.13. Materiales necesarios y costos relacionados a la alternativa 3.

Alternativa	Materiales necesarios	Costo de adquisición (Bs)
El tanque 2 será el único que alimentara a toda la fábrica	2 codos de 90° de 12" 1 reducción de 14 a 12" 3 metros de tubería de 12" Eliminación del tanque 1	17548,41

El tanque 1 está diseñado para una capacidad de 90m³, dicho tanque en las alternativas 1 y 2 trabajara aproximadamente al 80% de su capacidad, es decir, a 72m³, se requiere que el controlador de nivel detecte cuando el tanque se encuentre a 40m³ para que accione la válvula y permita el paso del fluido a un caudal de 40L/s. Este sistema debe estar conectado a una computadora de control, para que los ingenieros puedan verificar el nivel del tanque antes de realizar el mantenimiento a los cuerpos de evaporadores.

En la alternativa 3 podrá operar con un solo sistema de bombeo, la bomba tiene una capacidad de operación que puede soportar el requerimiento del sistema, se tiene instalada otra bomba de igual capacidad, esta se encuentra en desuso, y solo se enciende para el caso de que haya que realizar mantenimiento a la bomba que se encuentre en funcionamiento.

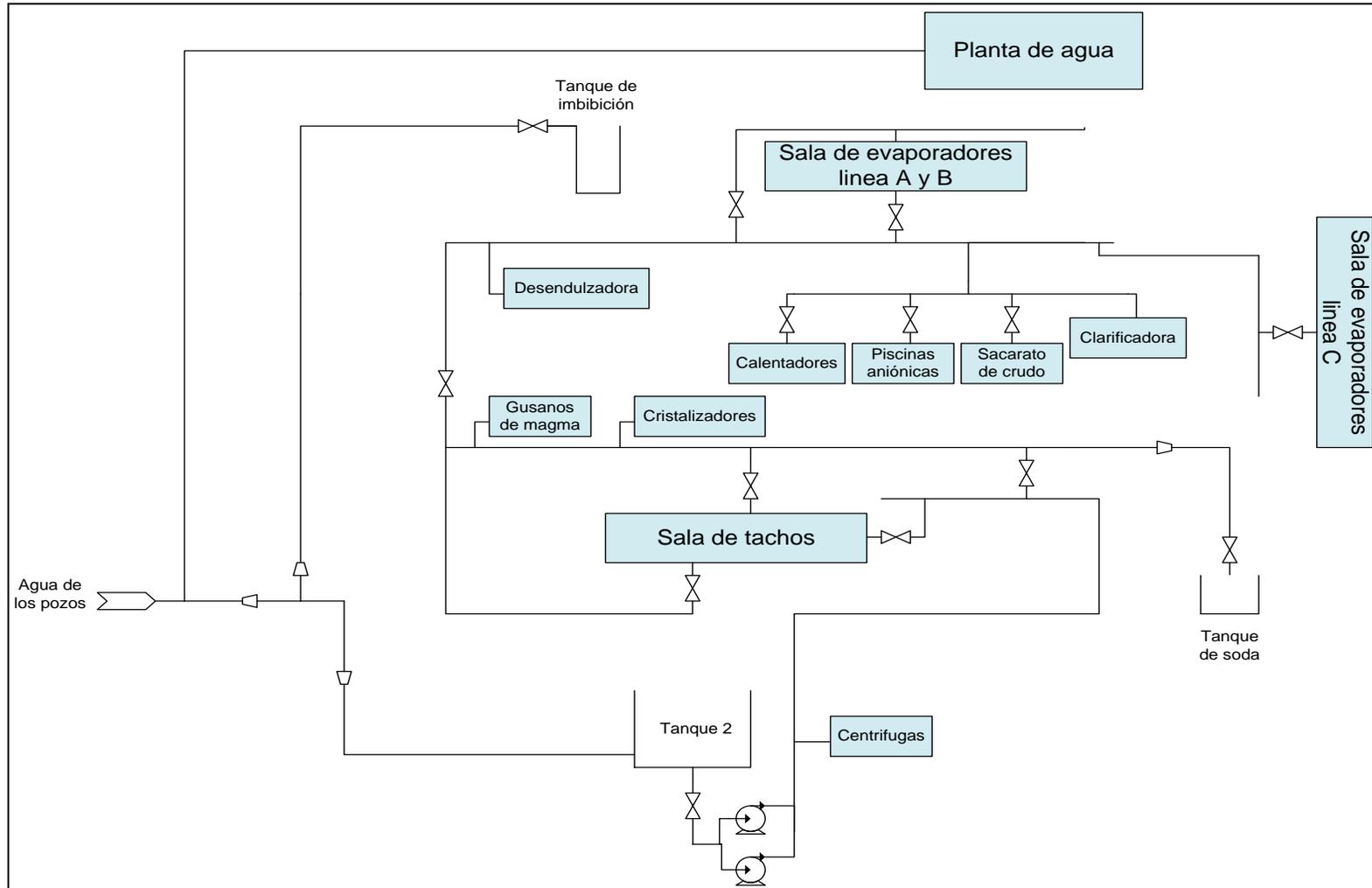


Figura 4.4. Diagrama de flujo del agua para la alternativa 3.

El gasto referente a mano de obra no se encuentra estipulado dentro de los costos de adquisición de ninguna de las alternativas propuestas, aun así, es este similar al gasto que se produce por compra de materiales. La empresa en estudio puede utilizar en su momento al personal capacitado que opera en el departamento de mantenimiento y disminuir los costos, evitando contratar a personal externo.

4.4. Selección técnico-económica de una alternativa

En esta parte se describe el análisis realizado a cada una de las alternativas, estableciendo una ponderación en un rango de valores de [0–10] siendo cero el límite inferior para la condición menos favorable, y diez el límite superior para la condición más favorable a los factores comparativos.

Los valores introducidos en cada una de las matrices pudieran sugerir a números subjetivos. Para lograr el mayor grado de objetividad, se describen las implicaciones en cada uno de los factores, en las diferentes alternativas propuestas.

Tabla 4.14. Matriz de ponderación para la primera alternativa de mejora.

Alternativa 1													
Factores	Peso (A)	Ponderación (B)										AxB	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Utilización de los equipos instalados	1,5							X					10,5
Accesibilidad de los equipos	1,5								X				12
Costos de instalación	2,5						x						15
Mantenimiento	2,0								x				16
Operatividad	2,5									X			22,5
											Total	76	

- Utilización de los equipos instalados en la actualidad.

Para esta alternativa se seguirá utilizando el tanque 1, y no existirá cambios en las bombas ni en tuberías, los cambios se enfocaran en la forma en que el agua se distribuye entre los tanque 1 y 2; haciendo a el tanque 2 por ser el de mayor volumen el tanque que soporte las fluctuaciones de los caudales de agua proveniente de los pozos. Por esto se le da a este factor un valor de 7.

- Accesibilidad de los equipos.

Los cambios a realizase como la eliminación del rebose del tanque 1, que requieren de nuevos metros de tubería y accesorios como el sistema de control de nivel, el cual será de vital importancia para un buen suministro del agua el tanque 1. Le damos para este factor un valor de 8.

- Costos de instalación.

En la aplicación de esta alternativa se requiere de una inversión significativa, la comprar de tuberías para la adaptación para el suministro de agua hacia el tanque 2, y el suministro hacia el tanque 1, así como también el sistema de control de nivel. Dado esto, a este factor se le da un valor de 6.

- Mantenimiento.

El mantenimiento en la aplicación de esta alternativa radica, en la revisión del sistema de control de nivel, la inspección de la válvula y empacadoras que eviten las fugas, siendo estas razones se le otorga un valor de 8.

- Operatividad.

Para esta alternativa el suministro estará prácticamente compartido en dos, de manera más eficiente, el nivel del tanque 1 será verificado por medio de una computadora, y así se estará seguro y podrá realizar el mantenimiento de los cuerpos de evaporadores y calentadores estando avisados de las condiciones en las que se encuentra el tanque 1. Por ello se le asigna el valor de 9.

Tabla 4.15. Matriz de ponderación para la segunda alternativa de mejora.

Alternativa 2												
Factores	Peso (A)	Ponderación (B)										AxB
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Utilización de los equipos instalados	1,5							x				10,5
Accesibilidad de los equipos	1,5								x			12
Costos de instalación	2,5						x					15
Mantenimiento	2,0							x				14
Operatividad	2,5								x			20
											Total	71,5

- Utilización de los equipos instalados en la actualidad.

Para esta alternativa al igual que la anterior se seguirá utilizando el tanque 1 y el tanque 2, las bombas y accesorios no serán reemplazados, se seguirá utilizando la línea de tubería que permite el flujo hacia el tanque de imbibición, tan solo se le será agregado unos metros más de tubería. Esto nos lleva a asignar a este factor un valor de 7.

- Accesibilidad de los equipos.

Los equipos, tuberías y accesorios a utilizar en esta alternativa son iguales a la alternativa anterior, los cuales se encuentran accesibles en el mercado y no presentan mayor problema para su adquisición. Para este factor se le da una ponderación de 8.

- Costos de instalación.

Para esta alternativa nos encontramos un costo de instalación mayor que en la anterior opción, aun cuando la instalación del sistema de control de nivel y rediseño del suministro de agua hacia el tanque 2, nos encontramos que debemos agregar 13 metros de tubería para realizar la conexión con la línea proveniente del sistema de bombeo del tanque 2.

- **Mantenimiento.**

Aquí el mantenimiento se manifiesta según el desgaste en el sistema de control de nivel, al igual que en la alternativa anterior, solo se necesita una revisión en la válvula para verificar que no existan fugas de agua, y que se encuentre operando de manera efectiva. A este factor se le asigna el valor de 7.

- **Operatividad.**

La aplicación de esta opción proporciona, que todo el caudal que queda después de la bifurcación hacia planta de agua vaya a el tanque 2. Aquí se le agrega un trabajo extra al sistema de bombeo del tanque 2, ya que se sabe que también proporcionara caudal al tanque 1 para alimentar al resto de la fábrica. El tanque de imbibición deja de ser una unidad independiente y se adiciona al consumo de los tanques para el agua de la fábrica, aumentando el requerimiento en el sistema. Se le da una ponderación de 8.

Tabla 4.16. Matriz de ponderación para la tercera alternativa de mejora.

Alternativa 3												
Factores	Peso (A)	Ponderación (B)										AxB
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Utilización de los equipos instalados	1,5								x			12
Accesibilidad de los equipos	1,5								x			12
Costos de instalación	2,5							x				17,5
Mantenimiento	2,0						x					12
Operatividad	2,5						x					15
											Total	68,5

- **Utilización de los equipos instalados en la actualidad.**

En este caso los cambios efectuados serán de cierta forma menor, a los que se proponen en las demás alternativas, se utilizara el sistema de bombeo del tanque 2

como único suministro hacia la fábrica, lo se realizaran cambios de bombas. Bajo esta condición se le asigna un valor de 8.

- Accesibilidad de los equipos.

En esta opción no se requiere de nuevos equipos, solo generar el rediseño en el suministro del agua hacia el tanque 2, el cual consta de las tuberías que ya se nombraron en la tabla 4.10. Se le asigno un valor de 8.

- Costos de instalación.

Los costos de instalación de esta alternativa son mucho menores que las dos opciones anteriores, haciéndola relativamente la más económica. Pero aquí existe un costo por desmontar el tanque 1, el cual debe ser derrumbado para poder utilizar el espacio físico en futuras remodelaciones, además que la empresa en estudio no tiene en mente otra utilidad para él. Esto lleva a signarle un valor de 7.

- Mantenimiento.

Bajo las condiciones que se presentan en esta alternativa, se necesita un mantenimiento preventivo del sistema de bombeo para que este no salga de operatividad, el buen estado de ambas bombas permitirá confiar en realizar el mantenimiento a una bomba, mientras la otra se encuentra en total funcionamiento, evitando crear una escases de agua en el sistema productivo. Bajo esta condición se le asigno un valor al mantenimiento de 6.

- Operatividad.

La operatividad de esta alternativa radicara en el buen funcionamiento del sistema de bombas, el mantenimiento es punto primordial para la aplicación de esta alternativa, una bomba en mal funcionamiento significaría menos caudal y presión al sistema, o hasta su paralización. Se debe tener en cuenta que con esta forma de operar, habrá que establecer una estricta condición de no realizar el mantenimiento al mismo tiempo a los cuerpos de evaporadores y tachos. Se le asigna a este factor el valor de 6.

La matriz de ponderación que se presenta en la tabla 4.14, muestra que es la mejor alternativa a aplicar, con un total de 76 puntos, esta alternativa permitirá separar mejor los suministros de agua hacia la fábrica, contando con dos sistemas de bombeo bien acoplados, donde el gran volumen del tanque 2 puede soportar fluctuaciones del caudal que se esté suministrando de los pozos. Se logra independizar el consumo en el mantenimiento de los cuerpos de evaporación, haciendo más eficiente al mismo.

4.5. Elaboración de un plan de aplicación

El plan de acción nace de la necesidad de tener a la mano una serie de actividades de forma cronológica, que permitan servir de guía para la realización de cualquier proyecto que deba realizarse en esta empresa. Todas las actividades o el proyecto están destinados a tener éxito o un fracaso, estando todo esto relacionado con el compromiso que presente el equipo de trabajo, es decir, la existencia o no de un plan de acción no garantiza el éxito, a menos que exista un verdadero compromiso.



La realización de este plan de acción trae consigo la integración de múltiples elementos tales como el tipo de actividad, el responsable de la misma y los tiempos de ejecución, siendo este último uno de los más importantes. La eficiencia del equipo de trabajo se verá reflejada en forma de cómo las actividades llegan a ser culminadas en función del cumplimiento de los tiempos establecidos.

Con todos estos elementos se puede proceder a la ejecución del plan de acción, por lo que cada responsable ya sabe las tareas que debe llevar a cabo para cumplir las estrategias planteadas y lograr el objetivo final de dicho plan..

Es aquí donde el seguimiento toma una gran importancia, puesto que al tener datos tan específicos de las actividades y tiempos, se hace necesario tener reuniones de evaluación, quizá en la misma área de trabajo en lugar de una junta aparte, para supervisar los avances de cada una de las tareas, hacer anotaciones y definir lo que ya se ha cumplido, lo que hace falta y lo que requiere una segunda evaluación para corregir el rumbo. Esto facilita darse cuenta de las necesidades insatisfechas para el cumplimiento de las tareas y permite la corrección para que no se vea afectado el objetivo en las fechas planeadas.

Con el uso del diagrama de Gant fácilmente puede ser supervisado el avance en porcentaje de culminación de cada actividad. Una vez cumplidos los plazos se debe realizar una revisión a conciencia y real del logro o no del objetivo, plantearse nuevos retos o buscar cumplir los ya establecidos. También sirve como reafirmación del compromiso de continuar con el nivel alcanzado hasta ese momento.

CONCLUSIONES

En la búsqueda de soluciones que logren mejorar el sistema de distribución y abastecimiento de agua en la empresa de estudio se logró concluir:

Con respecto a las características actuales del sistema de distribución y abastecimiento de agua se determinó:

- La fábrica se abastece de agua proveniente de pozos naturales.
- El suministro de agua hacia el sistema productivo es por medio de dos sistemas de bombeos.
- Los sistemas de bombeo consta de dos tanques, donde el de mayor volumen es abastecido por medio del rebose del tanque de menor capacidad.
- El caudal de agua suministrado desde los pozos hacia la fábrica es de 102 L/s.
- El agua proveniente de los pozos muestra presencia de coliformes.
- Las características físico-químicas del agua cumple con las especificaciones establecidas.
- El mayor consumo de agua dentro de la fábrica lo presenta el mantenimiento de los cuerpos de evaporación.
- Es posible retirar tuberías en desuso y recuperar accesorios de los mismos.
- El uso del hipoclorito en el agua debe ser constante para evitar la presencia de coliformes.

En el proceso de generación de alternativas se logró alcanzar lo siguiente:

- El suministro de agua debe ser dirigido primero al tanque 2, y el tanque 1 debe ser dependiente de este.

- Se puede lograr una reubicación del suministro de agua cruda del tanque de imbibición.
- El tanque 2 podría ser el único que surta agua a toda la fábrica.

Con respecto al diseño de las alternativas propuestas se concluye que:

- La alimentación directa del agua hacia el tanque 2 proporciona una mejor operación del sistema de distribución del agua en la entrada de la fábrica.
- Un sistema de control de nivel en el tanque 1 mejoraría el uso del agua dentro de la fábrica.
- La válvula de control será de 4'' con un $C_v = 259,44$.

En lo que respecta a la selección técnico-económico de la mejor alternativa se logró determinar qué:

- La mejor alternativa a aplicar es la número 1 con un puntaje de 76.
- La reubicación del suministro de agua en el tanque de imbibición se ve desfavorecida por el aumento en los costos asociados

En la elaboración del plan de aplicación se puede apreciar lo siguiente:

- Las actividades programadas en el plan de aplicación de la alternativa seleccionada, serán realizadas en un tiempo establecido de 21 días.

RECOMENDACIONES

- Incorporar programas de entrenamiento continuo al personal, para unificar criterios en el control del agua.
- Mejorar los planes de mantenimiento, con un estricto control del uso del agua.
- Mantener un control más estricto en los análisis microbiológicos de los pozos, ya que existe el riesgo de contaminación por ingestión.
- Mejorar la comunicación con el vigilante del tanque principal, para la reposición del hipoclorito.
- Realizar los análisis organolépticos, físicos y químicos para el agua potable.
- Realizar un mantenimiento más frecuente y efectivo en las empacaduras de las bombas para evitar las fugas de agua.
- Mejorar el sistema de condensado, que permita tratar la menor cantidad de agua para el uso de generación de vapor.
- Desmontar todas las tuberías que se encuentran en desuso.
- Realizar la identificación de las tuberías de agua fría y caliente.
- Identificar las tuberías pertenecientes a cada pozo en el tanque principal.
- Colocar un medidor de flujo en la descarga de bomba 2.
- Realizar un estudio en la alcalinidad del agua proveniente del tanque principal, para disminuir esta, antes de ser utilizada en el mantenimiento de los cuerpos de evaporación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación*. 5ª edición. Caracas: Epitesme.
- Araque, D. y Saldarriaga, J. (2005). *Optimización operacional de redes de distribución de agua potable con el fin de maximizar la uniformidad de presiones en los nodos de consumo*. Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes. Vol. #22. pp 126-132.
- Cobacho, R., Cabrera, E. y Cabrera, E Jr. (2007). Effect of water costs on the optimal renovation period of pipes. *Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures*, Vol #1. pp 231-247.
- Crane, A. (1992). *Flujo de fluidos*. México: McGraw-Hill.
- Direct Industry (2011). Salon Virtual de la Industria.
- Escobar, J. y Rossell, E. (2002). *Evaluación del requerimiento del agua de uso industrial en el Central el Palmar durante el periodo de interzafra*. Trabajo especial de grado. Universidad de Carabobo. Bárbula.
- Goulds Pump Manual GPM (1988), Edicion internacional. (5º edición). New York.
- Guanipa, V. (2000). *Herramientas de trabajo para fenómenos de transporte*. (Manuscrito no publicado) Trabajo especial de grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Valencia.
- Himmelblau, D (1988). *Balances y materias de energía*. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A, (4º edición). México.
- Hugot, E. (1984). *Manual para ingenieros azucareros*. (2º edición). Compañía editorial continental S.A. México.
- Juarez, Z. y Garcia, I. (1999). *Evaluación del uso del agua en Central El Palmar S.A. durante el periodo de zafra 1998-1999*. Trabajo especial de grado. Universidad de Carabobo. Bárbula.

Kemmer, F. (1993). *Manual de agua, su naturaleza y aplicaciones*. (1ª edición). Mc Graw Hill. México.

Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. (4ta Edición) México: Prentice Hall.

Naughton, K. (1992). *Bombas: selección, uso y mantenimiento*. (1ª edición). Editorial Mc Graw Hill. México.

Norma venezolana. Aguas potable. Toma de muestras. De fecha Noviembre 20, de 1994. Covenin 2614 – 1994.

Norma venezolana. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos, de fecha Diciembre 8, de 1987. Covenin 2461 – 87.

Perry, R., Green, D y Malone, J. (1992). *Manual del ingeniero Químico* (3 edición). Mexico: Mcgraw-Hill.

Potter, M y Wiggert, D. (1997). *Mecánica de fluidos*. (2da edición). México: Pearson.

Rios, J., Calderón, J., Echeverría, F. y Peñuela, G. (2008). *Diseño de un sistema piloto para el estudio de la corrosión del material de tubería y su contribución en el deterioro de la calidad del agua potable*. Revista de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Vol #43. pp. 102-113.

Rodríguez, L. (2009). *Eliminación del consumo de agua cruda en el proceso de fabricación de azúcar crudo de caña*. Revista Holguín Ciencias, Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Holguín. Vol. #3. pp 1.

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. (3era edición). Caracas: Editorial Panapo.

Silva, J. (2003). *Transporte de momento para ingenieros de procesos*. Valencia: Universidad de Carabobo.

Smith, C y Corripio, A. (2007). *Control automático de procesos. Teoría y Práctica*. Mexico: Limusa.

Streeter, V., Wylie, B y Bedford, K. (2004). *Mecánica de fluidos*. Bogotá: Mcgraw-Hill.

Vela, A., Martínez, F., García, J. y Pérez, R. (1994). *Estrategias optimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento*. Revista de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. Vol #1. pp 35-54.

Véliz, C. (2004). *¿Cómo hacer y defender una tesis?*. Caracas: Editorial Texto, c.a.

Welty, J., Wicks, C y Wilson, R. (1991). *Fundamentos de transferencias de momentos calor y masa*. México: Limusa, c.a

Anexos

En esta sección se presentan las tablas de datos, cálculos típicos y material bibliográfico que sirvieron para el desarrollo y obtención de los resultados en el trabajo de investigación.

TABLAS DE DATOS

Tabla A.1. Caudales de agua en la entrada de la fábrica tomados del indicador de flujo digital.

MEDICIÓN	CAUDAL (Q±0,01) L/s
1	98,00
	100,00
	99,00
2	99,00
	98,00
	101,00
3	101,00
	102,00
	100,00
4	99,00
	98,00
	98,00
5	90,00
	91,00
	91,00

Tabla A.2. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de sacarato para crudo y el tanque aniónico para el flash y filtro 1.

EQUIPO	MEDICIÓN	ALTURA (H±0,0005) m
Tanque de sacarato para crudo	1	0,6600
	2	0,6500
	3	0,6000
	4	0,6600
	5	0,6500
	6	0,6700
	7	0,6200
	8	0,6300
	9	0,6500
	10	0,6300
Aniónico para el flash y filtros 1	1	0,8400
	2	0,8500
	3	0,8600
	4	0,8600
	5	0,7500
	6	0,7700
	7	0,8200
	8	0,8300
	9	0,7500
	10	0,8300

Tabla A.3. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de ácido fosfórico y el tanque aniónico para el flash y filtro 2.

EQUIPO	MEDICIÓN	ALTURA (H±0,0005) m
Aniónico para el flash y filtros 2	1	0,9900
	2	1,2000
	3	0,9600
	4	0,9600
	5	0,9500
	6	0,9700
	7	0,9900
	8	0,9800
	9	0,9500
	10	1,3000
Ácido fosfórico	1	0,0800
	2	0,0800
	3	0,0800
	4	0,0800
	5	0,0790
	6	0,0800
	7	0,0800
	8	0,0630
	9	0,0650
	10	0,0630

Tabla A.4. Valores para determinar el consumo de agua en el tanque de hidrosulfito para la clarificadora de licor y la clarificadora de meladura.

EQUIPO	MEDICIÓN	ALTURA (H±0,0005) m
Hidrosulfito para la clarificadora de licor	1	0,4800
	2	0,4800
	3	0,4800
	4	0,4800
	5	0,4700
	6	0,4800
	7	0,4800
	8	0,4600
	9	0,4600
	10	0,4600
Hidrosulfito para la clarificadora de meladura	1	0,7400
	2	0,7500
	3	0,8600
	4	0,8600
	5	0,8500
	6	0,8700
	7	0,8200
	8	0,8300
	9	0,7500
	10	0,7300

Tabla A.5. Valores para determinar el consumo de agua en el gusano de magma de segunda y gusano de magma de tercera.

EQUIPO	MEDICIÓN	VOLUMEN ($V \pm 0,0001$) L	TIEMPO ($t \pm 0,01$) s
Gusano de magma de segunda	1	1,0000	20,21
			21,00
			19,89
	2	1,0000	21,00
			22,30
			21,34
	3	1,0000	17,42
			19,67
			20,21
	4	1,0000	23,44
			20,32
			21,32
	5	1,0000	22,43
			24,23
			23,34
	6	1,0000	19,23
			19,23
			20,13
Gusano de magma de tercera	1	2,4000	50,32
			51,12
			52,24
	2	2,4000	48,66
			49,89
			48,31
	3	2,4000	52,45
			52,52
			57,32
	4	2,4000	53,12
			52,45
			52,78
	5	2,4000	61,83
			61,45
			60,23
	6	2,4000	56,42
			55,87
			55,98

Tabla A.6. Valores para determinar el consumo de agua en la desendulzadora N°3 y desendulzadora N°4.

EQUIPO	MEDICIÓN	VOLUMEN ($V \pm 0,0001$) L	TIEMPO ($t \pm 0,01$) s
Desendulzadora N° 3	1	16,0000	9,87
			10,12
			9,34
	2	16,0000	9,32
			8,23
			8,56
	3	16,0000	12,43
			11,78
			12,76
	4	16,0000	9,54
			8,99
			9,64
	5	16,0000	6,22
			7,56
			8,34
	6	16,0000	11,23
			10,74
			12,56
Desendulzadora N° 4	1	8,0000	31,21
			31,00
			32,89
	2	8,0000	31,00
			33,30
			30,34
	3	8,0000	37,12
			39,54
			30,23
	4	8,0000	31,44
			30,32
			33,32
	5	8,0000	32,43
			31,23
			30,34
	6	8,0000	33,23
			31,23
			32,13

Tabla A.7. Valores para determinar el consumo de agua en el cristalizador N°11 y el cristalizador N° 12.

EQUIPO	MEDICIÓN	ALTURA (H±0,0005) m	TIEMPO (t±0,01) s
Cristalizador N° 11	1	0,1600	13,87
			14,12
			14,34
	2	0,1600	13,32
			15,23
			13,56
	3	0,1600	12,43
			12,78
			13,76
	4	0,1600	15,54
			14,99
			14,64
	5	0,1600	16,22
			14,56
			15,34
	6	0,1600	14,23
			15,74
			14,56
Cristalizador N° 12	1	0,2100	9,87
			10,12
			11,34
	2	0,2100	9,32
			11,23
			9,56
	3	0,2100	10,43
			11,78
			10,76
	4	0,2100	9,54
			9,99
			8,64
	5	0,2100	6,22
			7,56
			8,34
	6	0,2100	11,23
			12,74
			10,56

Tabla A.8. Valores para determinar el consumo de agua en el cristalizador N°3 y el clarificador de meladura.

EQUIPO	MEDICIÓN	ALTURA (H±0,0005) m	TIEMPO (t±0,01) s
Cristalizador N° 3	1	0,1400	15,43
			14,12
			15,31
	2	0,1400	14,12
			13,23
			13,99
	3	0,1400	16,44
			16,28
			16,66
	4	0,1400	12,54
			12,99
			12,64
	5	0,1400	16,22
			13,56
			13,34
	6	0,1400	15,23
			16,74
			15,56
Clarificador de meladura	1	0,1500	232,45
			233,65
			233,76
	2	0,1500	204,23
			203,45
			203,89
	3	0,1500	169,44
			169,28
			168,66
	4	0,1500	211,54
			212,99
			212,64
	5	0,1500	316,22
			313,56
			313,34
	6	0,1500	235,23
			236,74
			235,56

Tabla A.9. Valores para determinar el consumo de agua en las centrifugas de tercera.

EQUIPO	MEDICIÓN	VOLUMEN ($V \pm 0,0001$) L	TIEMPO ($t \pm 0,01$) s
Centrifugas de tercera	1	2,4000	33,21
			31,00
			31,89
	2	2,4000	31,00
			32,30
			31,34
	3	2,4000	37,42
			39,67
			30,21
	4	2,4000	33,44
			30,32
			31,32
	5	2,4000	32,43
			34,23
			33,34
	6	2,4000	39,23
			39,23
			30,13

Tabla A.10 Valores para determinar el consumo de agua en el lavado de los calentadores.

MEDICIÓN	VOLUMEN ($V \pm 0,0001$) m ³	TIEMPO ($t \pm 0,01$) s
1	2,4547	101,23
2	2,4547	100,34
3	2,4547	99,78
4	2,4547	101,53
5	2,4547	99,56
6	2,4547	100,99
7	2,4547	101,43
8	2,4547	102,63
9	2,4547	101,13
10	2,4547	100,98

Tabla A.11. Valores para determinar las dimensiones de los cuerpos de evaporadores y tachos de crudo y refino.

EVAPORADORES	TUBOS				SECCIÓN A		SECCIÓN B	
	DIÁMETRO (m)		LARGO (m)	NÚMERO	DIÁMETRO INTERNO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO INTERNO (m)	LONGITUD (m)
	INTERNO	EXTERNO						
LINEA A Y B								
1	0,0313	0,0349	2,1844	7694	4,5593	1,524	4,572	2,1336
2	0,0344	0,0381	2,159	3344	3,3401	1,5748	3,3528	2,159
3	0,0344	0,0381	2,159	3033	3,1877	1,5748	3,2004	2,1082
4	0,0344	0,0381	1,4224	1918	2,5781	1,524	2,5908	1,3716
5	0,0344	0,0381	1,4224	1910	2,5781	1,524	2,5908	1,3716
1D Y 1E	0,0344	0,0381	2,3495	5331	4,254/4,267	1,216/0,304	4,2679	2,2487
2,3,4C	0,0344	0,0381	1,8352	35753	3,651/3,658	1,216/0,305	3,6576	1,7844
PREEVAPORADOR	0,0313	0,0349	2,1336	7694	4,5593	1,524	4,572	2,0828
TACHO CRUDO	-----	0,0762	0,9652	-----	4,4156	2,5908	3,9624	1,0287
TACHO REFINO	-----	0,0979	0,8096	-----	-----	-----	4,3768	0,8696

Tabla A.12. Valores para determinar las dimensiones de los cuerpos de calentadores.

CALENTADORES	TUBOS			SECCIÓN B		SECCIÓN C	
	DIÁMETRO (m)		LONGITUD (m)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (m)	LONGITUD (m)
	INTERNO	EXTERNO					
1	0,0344	0,0381	5,4894	1,2954	5,4864	1,2954	0,2127
2							
3							
4							
5	0,0344	0,0381	6,096	1,5716	6,0135	6,0135	0,2127
6	0,0344	0,0381	5,4894	1,2954	5,4864	1,2954	0,2127
7							
8							
9							

Tabla A.13. Valores de las dimensiones de los cuerpos de evaporadores de las líneas A,B Y C.

EVAPORADOR	CUERPO (m ³)	CALANDRIA (m ³)
1A	47,5983	17,8015
2A	25,1472	9,3407
3A	22,7541	8,5411
4A	12,6570	3,6866
5A	12,6464	3,6991
1B	47,5983	17,8015
2B	25,1472	9,3407
3B	22,7541	8,5411
4B	12,6570	3,6866
5B	12,6464	3,6991
1D	46,1640	17,1543
1E	46,1640	17,1543
2C	30,6295	9,7559
3C	30,6295	9,7559
4C	30,6295	9,7559

Tabla A.14. Valores de las dimensiones de los cuerpos de calentadores y tachos de refino y crudo.

CALENTADOR	CUERPO (m3)	CALADRIA (m3)
1	2,4547	4,6672
2	2,4547	4,6672
3	2,4547	4,6672
4	2,4547	4,6672
5	4,1279	7,5378
6	2,2326	4,7972
7	2,2326	4,7972
8	2,2326	4,7972
9	2,2326	4,7972
TACHO DE REFINO		
1	45,8606	4,6397
2	45,8606	4,6397
3	45,8606	4,6397
4	45,8606	4,6397
5	45,8606	4,6397
6	45,8606	4,6397
TACHO DE CRUDO		
1	65,2667	4,0669
2	65,2667	4,0669
3	65,2667	4,0669
4	65,2667	4,0669
5	65,2667	4,0669
6	65,2667	4,0669
7	65,2667	4,0669
8	65,2667	4,0669
9	65,2667	4,0669

Tabla A.15. Valores de los consumos de agua en el enfriamiento de las bombas.

PRODUCTOS	CAUDAL GPM
SISTEMA DE CLARIFICADO	
B1	0,5
B2	0,5
B3	0,5
B4	0,6
TANQUE DOSIFICADOR DE SACARATO AL TANQUE PARA CACHAZA	0,5
TANQUE DOSIFICADOR DE SACARATO PARA EL FLASH Y EL ENCALADO	0,5
TANQUE PARA MIEL DE LAVADO PRIMERA (LADO A)	0,5
TANQUE PARA MIEL DE LAVADO PRIMERA (LADO B)	0,5
TANQUE PARA AGUA CALIENTE DE LAS CENTRIFUGAS	0,7
TANQUE PARA JUGO CLARIFICADO A LA REFINERÍA	0,6
TANQUE PARA LA PRIMERA FILTRACIÓN DE JUGO	
B1	0,5
B2	0,5
TANQUE PARA JUGO DE SEGUNDA FILTRACIÓN	0,5
TANQUE PARA SACARATO A LA REFINERÍA	0,3
TANQUE PARA LICOR COLADO DE LA REFINERÍA	0,6
TANQUE PARA LA ALIMENTACIÓN DE FILTROS DE LICOR	0,6
MAGMA DE SEGUNDA	1,5
MAGMA DE TERCERA	1,5
TANQUE DE ALIMENTACIÓN A LAS COLUMNAS DECOLORADAS	0,6
PRE-EVAPORADOR	1,5
TANQUE PARA MIEL SEGUNDA DE REFINO	0,5
TANQUE PARA MIEL TERCERA DE REFINO	0,5
TANQUE PARA MIEL DE LEVADO DE AFINACIÓN	0,6
TOLVA DE DOBLE FILTRACIÓN	1,5
TANQUE PARA MELADURA CLARIFICADA	0,7
TANQUE PULMÓN DE MELADURA	0,6
TANQUE PARA LA PREPARACIÓN DE SACARATO DE CRUDO	0,5
TANQUE PARA MIEL DE SEGUNDA DE CRUDO	0,6
TANQUE PARA JUGO ENCALADO	1,5
TANQUE PARA JUGO CLARIFICADO	
B1	1,5
B2	1,7
CAL PARA EL ENFRIADERO	0,7
TANQUE PARA CACHAZA	
	1,5
B1	
B2	1,5
TANQUE PARA AGUA CALIENTE DE LOS FILTROS DE LICOR	0,6
TANQUE PARA LA ESPUMA DE LA CLARIFICADORA DE MELADURA	0,5
TANQUE DE PREPARACIÓN DE CAL-SODA	0,5
TANQUE DOSIFICADOR DE CAL-SODA	0,5

Tabla A.16. Valores de algunos de los tanques presentes en la fábrica.

TANQUE	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	CAPACIDAD (L)
Preparación de floculante y aniónico al flash y filtro 1	1,67	0,93	2037
Preparación de floculante y aniónico al flash y filtro 2	1,18	0,19	1301
Hidrosulfito a la clarificadora de meladura	0,58	0,82	217
Floculante aniónico para la clarificadora de meladura	1,68	0,94	2084
Ácido fosfórico	0,502	0,88	174
Tanque de soda	4,7	4,7	81540
Sacarato a crudo	4,22	3,38	47270
Tanque 2 hacia fábrica	15,4	10,7	1993040
Hidrosulfito a la clarificadora de licor	0,98	1,12	845
Tanque 1 hacia fábrica	5,4	3,9	89318

CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se presentan los cálculos típicos realizados para la determinación de los resultados presentados en este trabajo de investigación.

Calculo de los caudales que se manejan en la entrada de fábrica.

De acuerdo a la bibliografía, se tiene que la cantidad necesaria de agua utilizada en el proceso de imbibición corresponde del 25 a 30% de las toneladas de caña de azúcar molida. Según el siguiente balance de masa se tiene:

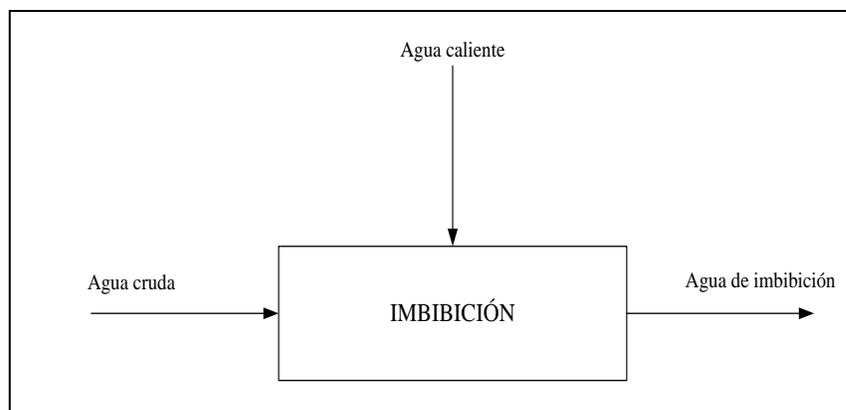


Figura B.1. Balance de masa en el sistema de imbibición.

$$m_{\text{acru}} + m_{\text{acal}} = m_{\text{aimb}} \quad (\text{I})$$

m_{acru} : cantidad de masa de agua cruda

m_{acal} : cantidad de masa de agua caliente

m_{aimb} : cantidad de masa de agua de imbibición

Se debe tener presente que la temperatura del agua cruda es de 28°C, la del agua caliente es de 90°C, y la temperatura de salida es de 65°C. Se supone que existe un mezclado perfecto y no hay calor cedido al ambiente, el balance de energía nos queda:

$$m_{\text{acru}} * 117,4 \text{ KJ/Kg} + m_{\text{acal}} * 376,92 \text{ KJ/Kg} = m_{\text{aimb}} * 251,13 \text{ KJ/Kg}$$

La empresa en estudio procesa 6500Ton/día de caña de azúcar, asumiendo que el agua de imbibición será el 30% de toneladas de caña molida tenemos:

$$m_{\text{acru}} + m_{\text{acal}} = 1950000\text{Kg}$$

$$m_{\text{acru}} * 117,4\text{KJ/Kg} + m_{\text{acal}} * 376,92 \text{ KJ/Kg} = 1950000\text{Kg} * 251,13 \text{ KJ/Kg}$$

$$m_{\text{acru}} = 945169,929\text{Kg/D}$$

La densidad del agua a 28°C es de 996,5Kg/m³, tenemos:

$$m_{\text{acru}} = 948,489\text{m}^3/\text{D} * 1\text{dia}/24\text{h} * 1\text{h}/3600\text{s} * 1000\text{L}/1\text{m}^3$$

$$Q_{\text{imb}} = 10,97\text{L/s}$$

Q_{imb} : caudal de agua cruda hacia imbibición

Se sabe por medio de la empresa que actualmente la zona de planta de agua se encuentra trabajando a su máxima capacidad, la cual es de 550gpm. Realizando el balance de masa nos queda:

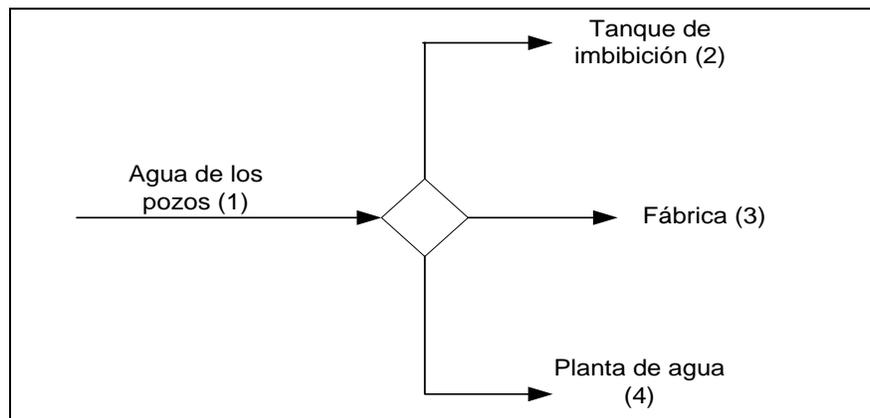


Figura B.2. Balance en la distribución del agua que viene de los pozos.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 \text{ (II)}$$

De la tabla A.1 se obtiene un promedio de 102 L/s para el flujo de agua proveniente de los pozos:

Q_1 : caudal de agua cruda proveniente de los pozos

Q_2 : caudal de agua cruda hacia imbibición

Q_3 : caudal de agua cruda hacia la fabrica

Q_4 : caudal de cruda hacia planta de agua

$$Q_3 = 102 \text{ L/s}$$

Calculo de caudales de consumo dentro de la fábrica

Para algunos equipos se realizó el método de volumen – tiempo teniéndose que para el desendulzador de espuma se toman los datos de la tabla A.6, promediando el tiempo para la primera corrida tenemos:

$$T = \frac{\sum T_i}{n} \text{ (III)}$$

T = tiempo promedio

T_i = tiempo de cada medición

n = número de mediciones

$$T = \frac{12 + 18 + 14}{3} = 14,66$$

Se estableció un volumen constante de 16L para la desendulzadora N°3, y se tiene:

$$Q = \frac{V}{T} \text{ (IV)}$$

Q: caudal (L/s)

V: volumen (L)

$$Q = \frac{16}{14,66} = \frac{1,09L}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1dia} = \frac{94176L}{dia}$$

Para la primera corrida se obtiene un caudal de 94176 L/día, promediando con las demás corridas tenemos un caudal de 121334,2 L/D. Se realiza el mismo procedimiento para la desendulzadora N°4, obteniendo un caudal de 24541,8 L/D,

sumando los caudales tenemos un caudal de consumo total de 145876L/D para estos equipos.

El cálculo de los equipos de clarificador de meladura, centrifugas de tercera, y gusanos de magma se realiza de misma manera, utilizando los datos de la tablas A.9, A.8 y A.5 respectivamente se obtiene:

Centrifuga de tercera = 53216 L/s

Clarificador de meladura = 60480 L/s

Gusanos de magma = 76875 L/s

Para la preparación de productos químicos como el sacarato para el crudo, preparación en las piscinas de floculante aniónico, hidrosulfito y ácido fosfórico se realiza de la siguiente manera, tomando como ejemplo la preparación de sacarato de crudo el cual se prepara 4 veces al día, junto con los datos de la tabla A.2 se obtiene:

$$V = \frac{D^2 * \pi * H}{4} (V)$$

V: volumen (m³)

H: altura de la medición

$$V = \frac{(3,62)^2 * \pi * 0,66}{4} = 6,792$$

$$Q = 6,792 * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{4}{dia} = 27168 L/D$$

Quedando para el resto de los equipos:

Piscinas de floculante aniónico = 60579 L/D

Tanque de hidrosulfito = 405 L/D

Tanque de ácido fosfórico = 212 L/D

Cálculo del caudal de consumo en los cuerpos de evaporadores y calentadores

Para obtener la cantidad de agua utilizada para la limpieza de los equipos transferencia de calor, se realizó el cálculo del volumen de lavado de los mismos. Se muestra el cálculo típico utilizando como ejemplo el evaporador 1 de la línea A.

El cuerpo del evaporador está conformado por las partes A, B y C, como se muestra en la figura B.3:

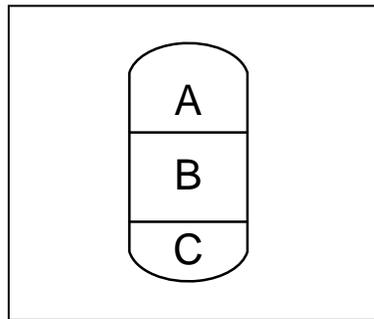


Figura B.3. Secciones de los cuerpos de evaporadores.

Para obtener los volúmenes de cada sección se utilizan los valores de la tabla A.11 y la ecuación IV, para el cálculo de la sección A se obtiene:

$$V_A = \frac{(4,54)^2 * \pi * 1,5240}{4} = 24,67$$

V_A : volumen de la sección A (m^3)

Para obtener las dimensiones de la parte B la cual es la zona de la calandria, se obtiene el volumen del radio interno del equipo como si estuviese vacío y se le resta el volumen externo de los tubos, quedando:

Volumen externo del conjunto de tubos de menor diámetro: $15,7263m^3$

Volumen externo del tubo de menor diámetro: $1,5001m^3$

Volumen del equipo sin tubos: $35,0278m^3$

$$V_B = 35,0278 - 15,7263 - 1,5001 = 17,8015m^3$$

La sección C tiene un valor de $8,377\text{m}^3$ y fue suministrado por la empresa, siendo la capacidad total:

$$VT = 24,67 + 17,8015 + 8,377 = 47,5983\text{m}^3$$

La capacidad del resto de los evaporadores se realiza de la misma forma y al igual que los calentadores y los tachos, los cuales se encuentran tabulados en la tablas A.13 y A.14.

Para conocer el lavado del evaporador, se investigó el número de lavadas al equipo durante la zafra. Estos. Aquí se muestra el número de lavadas, si el procedimiento no tiene ningún problema, porque al existir alguno se debe repetir todo el lavado.

Se realiza en el día el lavado de 3 evaporadores, el cual consiste en enjuagar 2 veces el evaporador con agua para desendulzar, este llenado se realiza hasta el volumen total del evaporador, se introduce soda al cuerpo del evaporador por 6 horas para después enjuagar por 4 veces más, en ese tiempo se enjuaga el siguiente evaporador y así sucesivamente.

$$LN = VT * 6\text{lavadas} = 285589,8L$$

LN= lavado normal

Este es el consumo para el evaporador de mayor volumen, el mantenimiento se realiza a un evaporador de mayor volumen y dos de menor volumen. Se obtiene un volumen total.

$$LT = 47,5983 * 6 + 25,1472 * 6 + 22,7541 * 6 = \frac{572998L}{D}$$

LT= lavado total

A partir de los datos de la tabla A.10 se calcula el caudal que atraviesa el cuerpo del calentador:

$$Q = \frac{2.4547}{98,99} = 24,79L/s$$

Se sabe que se deja pasar agua por 15 minutos y solo se le hace mantenimiento a un evaporador diario:

$$Q = 24,79 * 15 * 60 = 21872L/D$$

Quedando un consumo para estos equipos de:

$$QT = 572998 + 21872 = 594870L/D$$

Dentro de otros consumos dentro de la fábrica tenemos la cantidad de agua que se utiliza para los sellos de las bombas, tal como lo muestra la tabla A.15, aportada por el manual del fabricante de las bombas, generando un caudal de:

$$Q = 57258L/s$$

Para el cálculo del caudal que puede proporcionar la bomba del tanque 5 se toman los datos de la tabla B.1, y realizamos el volumen de control como se aprecia en la figura B.4:

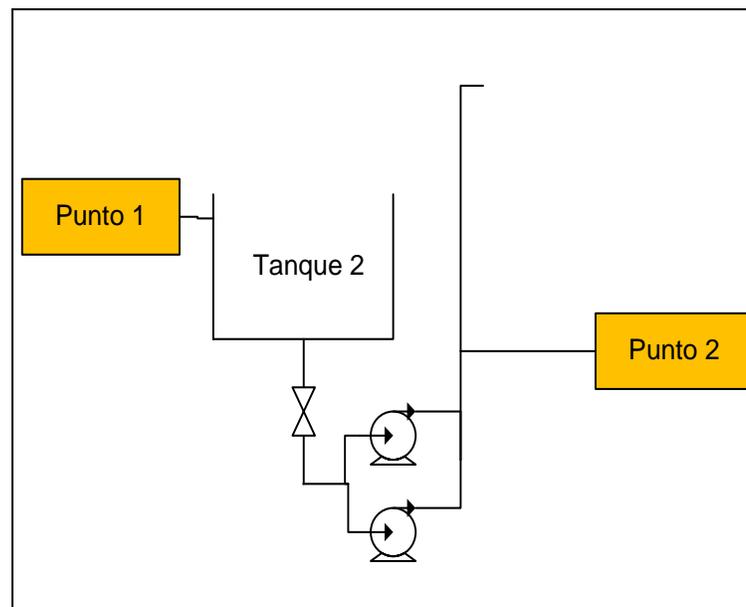


Figura B.4. Volumen de control para la determinación del caudal que proporciona el tanque 2.

Tabla B.1. Valores para la determinación del H la bomba del tanque 2

Peso específico [γ (kgf/m ³)]	966,5
Presión de descarga (psi)	79
Presión de succión (psi)	12,5

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} + H_e - h_L = 0 \quad (\text{VI})$$

Las pérdidas de energía entre la succión de la bomba y la descarga del tanque se consideran despreciable por la corta distancia que existe entre ellos, el área del tanque es muchísimo mayor al área de la tubería, por lo tanto la velocidad en el tanque se asume de 0 m/s. Siendo la presión en la flor del líquido ambiente la ecuación queda:

$$V_2 = \sqrt{(Z_1 + H_e - P_2/\gamma) * 2 * g}$$

$$H_e = \frac{P_d - P_s}{\gamma}$$

Pd: presión de descarga en la bomba (kgf/m²)

Ps: presión de succión en la bomba (kgf/m²)

$$H_e = \frac{56232,98 - 8971,74}{996,5} = 47,41m$$

He: cabezal proporcionado por la bomba del tanque 2.

$$V_2 = \sqrt{\left(10 + 47,41 - \frac{56232,98}{996,5}\right) * 2 * 9,8} = 4,38 \frac{m}{s}$$

El área de la tubería de descarga es de 0,01771m²:

$$Q = 0,01771 * 4,38 = 77,56 \text{L/s}$$

Q: caudal que proporciona la bomba del tanque 2.

Cálculo de la válvula de control

Se realiza el cálculo de la caída de presión en la línea, tal como se muestra en la figura B.5.

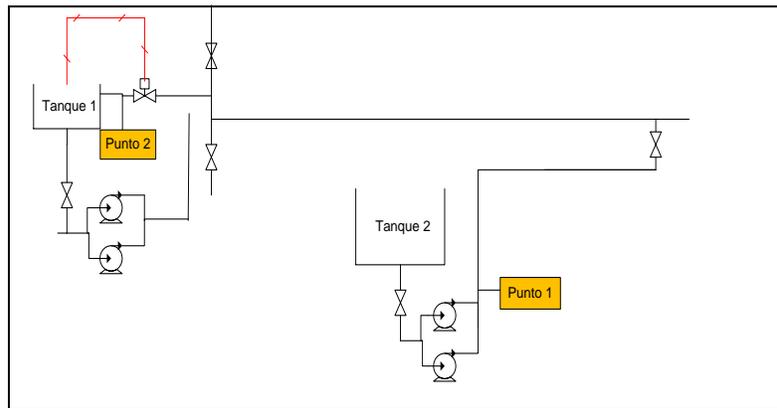


Figura B.5. Volumen de control para determinar la caída de presión en la línea de la válvula de control a fijar.

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} - h_L = 0$$

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} = 0, \text{ ya que por la ecuación de continuidad } V_1 = V_2.$$

$$Z_1 - Z_2 = 12,869 \text{m}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \Delta P = h_L$$

La caída de presión en la tubería será igual a las pérdidas de energía.

Para el cálculo de pérdidas de energía tenemos de número de Reynolds para conocer el tipo de flujo en la tubería, para una temperatura del agua de 28°C hacemos uso de la tabla B.2 tenemos:

Tabla B.2. Propiedades del agua a 28°C

Densidad [ρ (kg/m ³)]	966,5
Peso específico [γ (kgf/m ³)]	966,5
Viscosidad [μ (kg/m.s)]	0,0000892

El caudal de trabajo a utilizar para determinar el Cv es de 40 L/s.

$$Re = \frac{D \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (\text{VII})$$

$$Re = \frac{0,15019 \cdot 996,5 \cdot 2,253}{0,0000892}$$

$$Re = 3780198,9546$$

Sustituyendo el número de Reynolds y los datos técnicos de la tubería en la ecuación VIII, se tiene:

$$Fd = 1,325 * \left\{ \ln \left[0,27 * \left(\frac{e}{D} \right) + 5,74 * \left(\frac{1}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (\text{VIII})$$

$$Fd = 1,325 * \left\{ \ln \left[0,27 * \left(\frac{0,0000457 \text{ m}}{0,15019 \text{ m}} \right) + 5,74 * \left(\frac{1}{3780198,9546} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$Fd = 0,015$$

Para el cálculo de las pérdidas de energía en la tubería se tiene:

Tabla B.3. Accesorios presentes en el tramo de tubería del volumen de la figura B.5.

Accesorios	N°	Le/D	K
Codo de 90°	12	28,63	---
Válvulas de compuerta	2	7,32	---
Expansión	1	---	0,35
Reducción	1	---	0,25
T	11	22,63	---
Total		607,13	0,60

Para una longitud de la tubería de 119,91m sustituyendo en IX:

$$h_L = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left[f d \cdot \left(\frac{L_T}{D} + \sum \frac{Le}{D} \right) + \sum K \right] \quad (\text{IX})$$

$$h_L = \frac{2,25^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \left[0,015 \cdot \left(\frac{119,91}{0,15019} + 607,13 \right) + 0,60 \right]$$

$$h_L = 6,60m$$

La caída de presión será:

$$\Delta P = 6,60m \cdot 996,5 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} = 6576,9 \text{ Kgf/m}^2$$

Para conocer el Cv de la válvula de control a utilizar se tiene:

$$Cv = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{s}}} \quad (\text{X})$$

Cv: factor o coeficiente de la válvula

s: gravedad específica del fluido (1 para agua)

Q: caudal máximo a través de la válvula (gpm)

ΔP : caída de presión a través de la tubería donde esta instalada de la válvula (psi)

El caudal de diseño será:

$$Q = 1,25 * Q_{diseño} = 1,25 * 40L/s = 50L/s \quad (XI)$$

$$Cv = \frac{792,54}{\sqrt{\frac{9,35}{1}}} = 259,44$$

Con el valor de Cv entramos a los catálogos de diseño del fabricante y seleccionamos la válvula que se requiere.

Cálculo del requerimiento del sistema operando únicamente con el tanque 2.

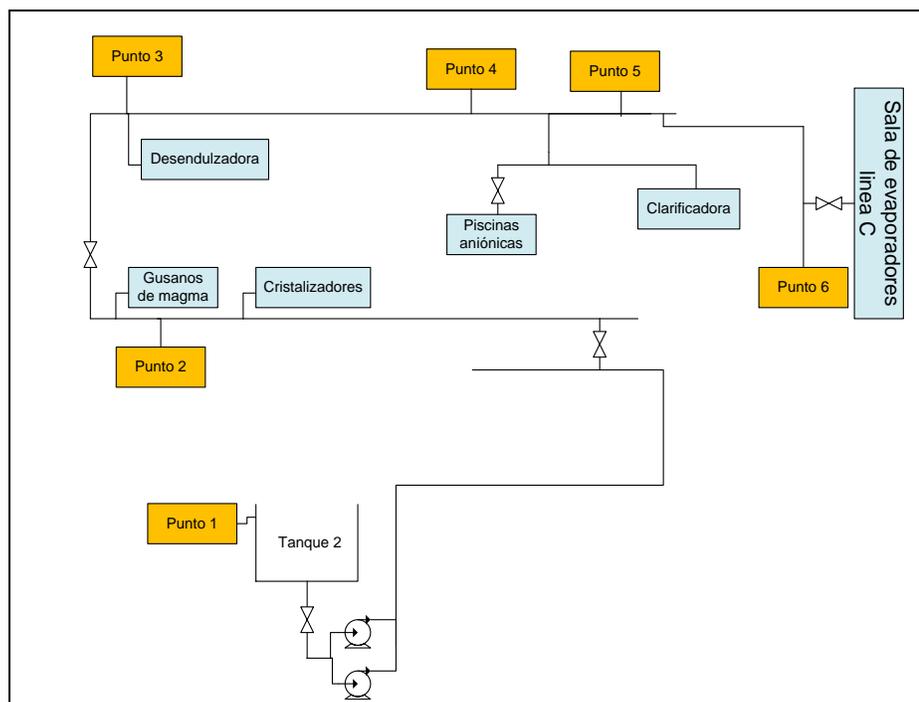


Figura B.6. Volumen de control para determinar el requerimiento del sistema.

Para el cálculo del requerimiento del sistema para trabajar solamente con el tanque 2 se asumió el punto más crítico del sistema, donde los equipos con mayor consumo se encuentran en total funcionamiento, los volúmenes de control se muestran en la figura A.6, como se ya se menciono en la metodología se realiza balances en cada punto hasta el equipo para calcular las pérdidas de energía:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} - h_1 + H_{req} = 0$$

Donde:

$V_1=0$ m/s por ser el diámetro del tanque mucho mayor que el de la tubería.

$P_1=P_{amb}$ quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$H_{req} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_1$$

h_1 : pérdidas de energía en el tramo 1-2.

Las pérdidas de energía totales serán igual a la sumatoria de las pérdidas que se presentan en los tramos de tuberías que van hacia cada equipo. Se realiza el cálculo para el primer volumen de control (1-2), se asume que el caudal de trabajo será de 40L/s. Para el cálculo del cabezal de presión, se realiza un volumen de control desde P_2 hasta de descarga la cual es presión ambiente quedando de la siguiente manera:

$$\frac{P_2}{\gamma} = h_2$$

$$h_2 = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left[f_d \cdot \left(\frac{L_T}{D} + \sum \frac{L_e}{D} \right) + \sum K \right]$$

h_2 : pérdidas de energía en el tramo del punto 2 hasta la descarga en el equipo.

En la línea de descarga se maneja un caudal de 3L/s en tramo de tubería de 1^{1/2}”:

Tabla B.4. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 2 – Gusanos de magma y cristalizadores.

Accesorios	Nº	Le/D	K
Codo de 90°	8	26,9	---
Válvulas	2	8	---
Contracción	1	---	0,41
Total		231,2	0,41

Para una longitud de tubería de 15 metros.

$$Re = \frac{D \cdot \rho \cdot v}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,04089 \cdot 996,5 \cdot 2,2845}{0,0000892}$$

$$Re = 1043582,31671$$

Sustituyendo el número de Reynolds y los datos técnicos de la tubería en la ecuación VIII, se tiene:

$$Fd = 1,325 * \left\{ \ln \left[0,27 * \left(\frac{0,0000457 \text{ m}}{0,04089 \text{ m}} \right) + 5,74 * \left(\frac{1}{1043582,31671} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$Fd = 0,0205$$

$$h_2 = \frac{2,2845^2}{19,6} \cdot \left[0,0205 \cdot \left(\frac{15}{0,04089} + 231,2 \right) \right]$$

$$h_2 = 3,2644\text{m}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 3,2644\text{m}$$

De igual manera calculamos el h_1 . En la línea se maneja un caudal de 40L/s en tramo de tubería de 6”:

Tabla B.5. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 1 – punto 2

Accesorios	N°	Le/D	K
Codo de 90°	12	28,63	---
Válvulas de compuerta	2	7,32	---
Expansión	1	---	0,35
Reducción	1	---	0,25
T	11	22,63	---
Total		607,13	0,60

Para una longitud de tubería de 117m tenemos:

$$h_1 = 6,02\text{m}$$

El cálculo del cabezal de presión en el punto 3 se realizó de igual forma que el cabezal de presión del punto 2:

En la línea de descarga se maneja un caudal de 1,5L/s en tramo de tubería de 1^{1/2}”:

Tabla B.6. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 3 - desendulzadora

Accesorios	N°	Le/D
Codo de 90°	4	26,9
Válvulas	2	8
Total		123,6

Para una longitud de tubería de 12 metros.

$$Re = 521791,1583$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = h_3 = 1,65m$$

Entre el punto 2 y el punto 3 calculamos las pérdidas h4:

$$P_2/\gamma - P_3/\gamma = h_4 = 3,26-1,65 = 1,61m$$

El cálculo del cabezal de presión en el punto 4 se realiza con los datos de la tabla B.7. En esa línea de descarga se maneja un caudal de 1L/s en tramo de tubería de 2”:

Tabla B.7. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 4 – piscinas aniónicas.

Accesorios	Nº	Le/D
Codo de 90°	4	32,38
Válvulas	1	331,42
Total		460,94

Para una longitud de tubería de 6 metros.

$$Re = 270933,8471$$

$$\frac{P_4}{\gamma} = h_5 = 0,1283m$$

Entre el punto 3 y el punto 4 calculamos las pérdidas h5:

$$(P_3/\gamma - P_4/\gamma) + 6,75 = h_6 = 1,65 - 0,1283 + 6,75 = 8,27m$$

El cálculo del cabezal de presión en el punto 5 se realiza con los datos de la tabla B.8. En esa línea de descarga se maneja un caudal de 1L/s en tramo de tubería de 2”:

Tabla B.8. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 5 – clarificadora.

Accesorios	Nº	Le/D
Codo de 90°	5	32,38
Válvulas	2	331,42
Total		824,74

Para una longitud de tubería de 20 metros.

$$Re = 270933,8471$$

$$\frac{P_5}{\gamma} = h_7 = 0,3281m$$

Entre el punto 3 y el punto 4 calculamos las pérdidas h₇:

$$(P_4/\gamma - P_5/\gamma) + 0,78 = h_8 = 0,1283 - 0,3281 + 0,78 = 0,5802m$$

El último balance comprende el punto 5 hasta el final de los evaporadores. En esa línea se maneja un caudal de 33.5L/s en tramo de tubería de 6”:

Tabla B.9. Accesorios presentes en el tramo de tubería punto 5 - evaporadores

Accesorios	Nº	Le/D	K
Codo de 90°	3	28,63	---
Válvulas de compuerta	1	7,32	---
Reducción	1	---	0,25
T	5	22,63	---
Total		206,36	0,25

Para una longitud de tubería de 37m se tiene:

$$Re = 3172680,62$$

$$h_9 = 1,51m$$

Ya calculadas todas las pérdidas de energía en el sistema tenemos el Hreq como:

$$H_{req} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9$$

$$H_{req} = 30,88m$$

MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Figura C.1. Propiedades del agua a diferentes temperaturas

Temperatura T °C	Viscosidad † μ' , centipoises	Conductividad calorífica * k, kcal/m-h-°C	Densidad ** ρ , kg/m ³	$\psi_f = \left(\frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/2}$
0	1,794	0,476	999,87	6 900
5	1,519	0,485	999,99	7 860
10	1,310	0,496	999,73	8 870
15	1,140	0,505	999,13	9 900
20	1,005	0,513	998,23	10 930
25	0,894	0,522	997,07	12 150
30	0,801	0,529	995,67	13 090
35	0,723	0,535	994,06	14 160
40	0,656	0,541	992,24	15 260
45	0,599	0,547	990,25	16 370
50	0,549	0,553	988,07	17 510
60	0,470	0,562	983,24	19 680
70	0,406	0,570	977,81	21 920
80	0,357	0,577	971,83	24 080
90	0,317	0,582	965,34	26 170
100	0,284	0,586	958,38	28 220
110	0,256	0,588	951,0	30 190
120	0,232	0,589	943,4	32 120
130	0,212	0,589	935,2	33 910
140	0,196	0,589	926,4	36 340
150	0,184	0,589	917,3	36 090

† De «International Critical Tables», vol. 5, pág. 10, McGraw-Hill Book Company, New York, 1929.

* De E. Schmidt y W. Sellschopp, *Forsch. Geb. Ingenieurw.*, 3:277 (1932).

** Calculadas de J. H. Keenan y F. G. Keyes, «Thermodynamic Properties of Steam», John Wiley & Sons, Inc., New York, 1937.

Fuente: McCabe, W. y otros. «Operaciones Unitarias en Ingeniería Química». Cuarta Edición, McGraw-Hill, España, 1991.

Figura C.2. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías normalizadas de acero.

Tamaño nominal de tubería pulg	Diámetro exterior cm	Núm. de catálogo	Espesor de pared cm	Diámetro interior cm	Área de la sección transversal de metal cm ²	Área de la sección interior dm ²	Circunferencia m, o superficie m ² /m de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 m/seg litros/min	Peso de tubería kg/m
							Exterior	Interior		
1/8	1,029	40	0,173	0,683	0,465	0,00372	0,0323	0,0215	2,198	0,36
		80	0,241	0,546	0,600	0,00232	0,0323	0,0172	1,403	0,46
1/4	1,372	40	0,224	0,925	0,806	0,00669	0,0430	0,0290	4,032	0,63
		80	0,302	0,767	1,013	0,00465	0,0430	0,0241	2,772	0,80
3/8	1,715	40	0,231	1,252	1,077	0,01236	0,0540	0,0393	7,387	0,85
		80	0,320	1,074	1,400	0,00910	0,0540	0,0338	5,436	1,10
1/2	2,134	40	0,277	1,580	1,613	0,01960	0,0671	0,0497	11,76	1,27
		80	0,373	1,387	2,065	0,01514	0,0671	0,0436	9,066	1,62
3/4	2,667	40	0,287	2,093	2,148	0,03447	0,0838	0,0658	20,64	1,68
		80	0,391	1,885	2,794	0,02787	0,0838	0,0391	16,74	2,19
1	3,340	40	0,338	2,664	3,187	0,05574	0,1049	0,0838	33,44	2,50
		80	0,455	2,431	4,123	0,04636	0,1049	0,0762	27,83	3,23
1 1/4	4,216	40	0,356	3,505	4,310	0,09662	0,1326	0,1100	57,89	3,38
		80	0,485	3,246	5,684	0,08277	0,1326	0,1021	49,65	4,47
1 1/2	4,826	40	0,368	4,089	5,161	0,13136	0,1515	0,1283	78,79	4,05
		80	0,508	3,810	6,897	0,11380	0,1515	0,1198	68,41	5,40
2	6,033	40	0,391	5,250	6,935	0,21646	0,1896	0,1649	129,9	5,43
		80	0,554	4,925	9,529	0,19045	0,1896	0,1548	114,3	7,47
2 1/2	7,303	40	0,516	6,271	10,99	0,30861	0,2295	0,2054	185,3	8,62
		80	0,701	5,900	14,54	0,27331	0,2295	0,1853	164,0	11,40
3	8,890	40	0,549	7,793	14,37	0,47658	0,2792	0,2448	286,2	11,28
		80	0,762	7,366	19,46	0,42613	0,2792	0,2313	255,7	15,25
3 1/2	10,16	40	0,574	9,012	17,29	0,63822	0,3191	0,2832	382,7	13,56
		80	0,808	8,545	23,73	0,57319	0,3191	0,2685	344,1	18,62
4	11,43	40	0,602	10,226	20,45	0,82124	0,3591	0,3213	492,8	16,06
		80	0,856	9,718	28,45	0,74190	0,3591	0,3054	445,0	22,29
5	14,13	40	0,655	12,819	27,74	1,29131	0,4438	0,4026	774,4	21,76
		80	0,953	12,225	39,42	1,1733	0,4438	0,3841	704,3	30,92
6	16,83	40	0,711	15,405	36,00	1,8636	0,5285	0,4840	1118	28,23
		80	1,097	14,633	54,19	1,6815	0,5285	0,4596	1009	42,52
8	21,91	40	0,818	20,272	54,17	3,2274	0,6882	0,6367	1937	42,49
		80	1,270	19,368	82,32	2,9459	0,6882	0,6084	1768	64,57
10	27,31	40	0,927	25,451	76,84	5,0863	0,8577	0,7986	3053	60,24
		80	1,509	24,287	122,3	4,5688	0,8577	0,7629	2780	95,84
12	32,39	40	1,031	30,323	101,6	7,2211	1,0174	0,9540	4333	79,71
		80	1,748	28,890	168,2	6,5550	1,0174	0,9083	3933	131,8

† Basadas en ANSI B36.10

Fuente: McCabe, W. y otros. "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", Cuarta Edición, McGraw-Hill, España, 1991.

Figura C.3 Valores de coeficientes de resistencia o longitud equivalente representativo en diámetro de tuberías, para diferentes accesorios.

Descripción	K	(L/D)
Válvula de globo		
Convencional		
Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o clavija –Completamente abierta.		340
Con disco de chaveta o de aleta - Completamente abierta.		450
De asiento biselado –Completamente abierta.	6.0	
–1/2 abierta.	9.5	
De asiento compuesto –Completamente abierta.	6.0	
–1/2 abierta.	8.5	
Modelo Y		
(Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o de clavija).		
Con vástago a 60 grados del cauce de 1 a tubería –Completamente abierta.		175
Con vástago a 45 grados del cauce de 1 a tubería –Completamente abierta.		145
De tapón –Completamente abierta.	9.0	
–3/4 abierta.	13.0	
–1/2 abierta.	36.0	
–1/4 abierta.	112.0	
Válvula de diafragma –Completamente abierta.	2.3	
–3/4 abierta.	2.6	
–1/2 abierta.	4.3	
–1/4 abierta.	21.0	
Válvulas angulares		
Convencional		
Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o clavija –Completamente abierta.		145
Con disco de chaveta o de aleta –Completamente abierta.		200
Válvula de compuerta		
Disco de cuña, doble o de clavija –Completamente abierta.		13
–3/4 abierta.		35
–1/2 abierta.		160
–1/4 abierta.		900
Tubería Conduit –Completamente abierta.		3*
Válvulas de retención		
De disco –Completamente abierta.	10.0	
Giro convencional –0,5 [^] –Completamente abierta.		135
Giro de despeje –0,5 [^] –Completamente abierta.		50
Alza o cierre del globo –2,0 [^] –Completamente abierta.		**
Alza o cierre angular –2,0 [^] –Completamente abierta.		***
En línea de municiones, 2.5 vertical y 0.25 horizontal –Completamente abierta.		150
De bisagra –Completamente abierta.	2.0	100
De columpio –Completamente abierta.	2.5	
Válvulas de aspiración con cedazo		
Con disco de tipo alza vertical –3,0 [^] –Completamente abierta.		420
Con disco articulado cuero –4,0 [^] –Completamente abierta.		75

Puede estimarse el valor de L/D para una Válvula de bola 100% abierta con la L/D de una válvula de compuerta 100% abierta.

* El largo equivalente exacto es igual al largo de las caras de las bridas o extremos de soldadura.

** Igual que para globo.

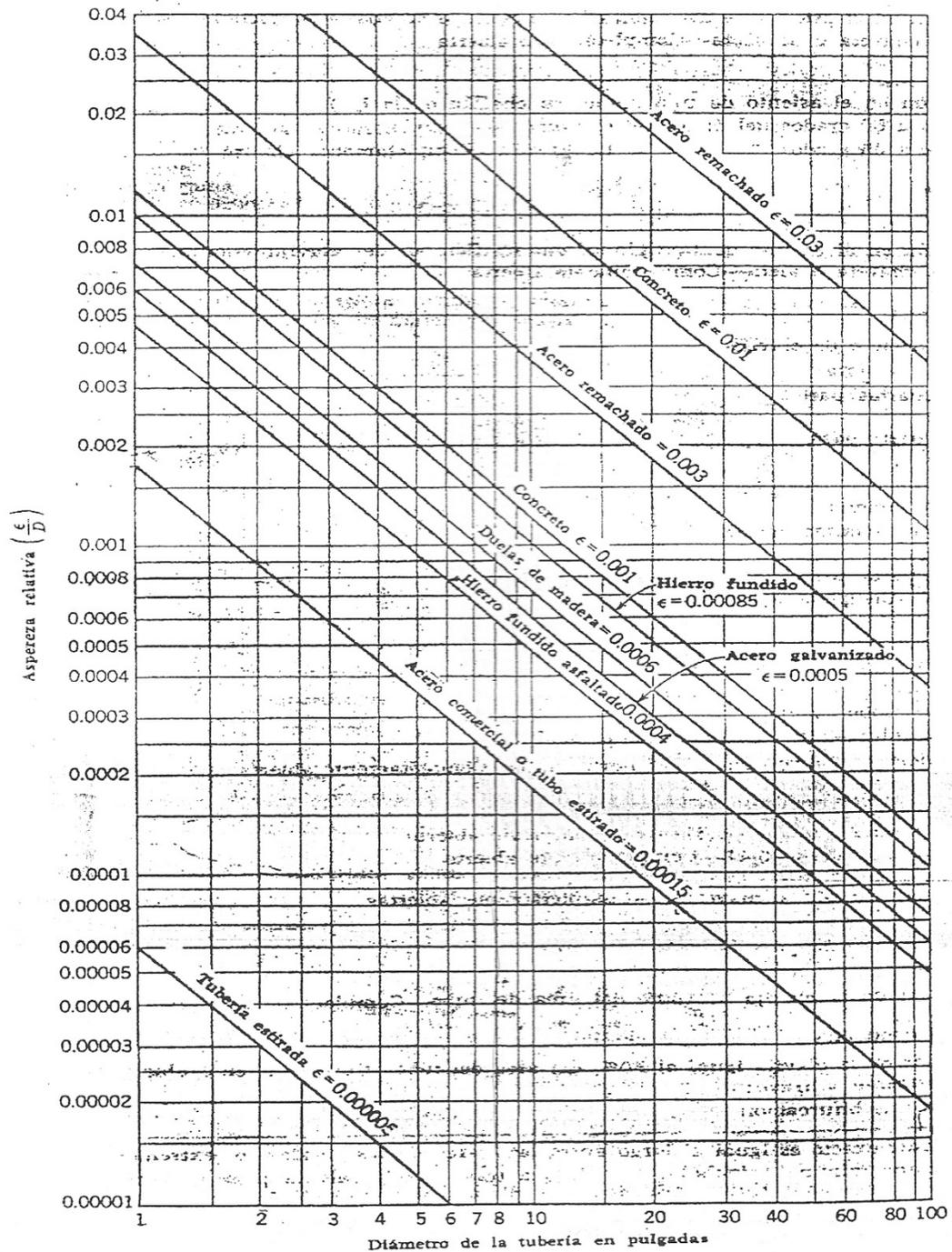
*** Igual que para angular.

[^] La presión de caída mínima calculada, (lbf/pulg²) a través de la válvula para proporcionar suficiente flujo para alzar el disco por completo.

Figura C.3 Valores de coeficientes de resistencia o longitud equivalente representativo en diámetro de tuberías, para diferentes accesorios (Continuación).

Descripción	K	(L/D)
Válvulas de mariposa		
$\phi = 5^\circ$	0.24	
$\phi = 10^\circ$	0.52	
$\phi = 20^\circ$	1.54	
$\phi = 40^\circ$	10.8	
$\phi = 60^\circ$	118.0	
De 6 pulg y mayores (General) –Completamente abierta.		20
Grifos		
Directo a través.		
Área rectangular de la clavija al 100% del área del tubo –Completamente abierta.		18
Válvulas de tres conductos		
Área rectangular de la clavija igual al 80% del área del tubo –Completamente abierta.		
Flujo directamente a través.		44
Flujo a través de bifurcación.		140
Válvula de pie –Completamente abierta.	15.0	
Y o Válvula de escape –Completamente abierta.	3.0	
De llave ciega.		
$\phi = 5^\circ$	0.05	
$\phi = 10^\circ$	0.29	
$\phi = 20^\circ$	1.56	
$\phi = 40^\circ$	17.3	
$\phi = 60^\circ$	206.0	
Medidor de agua, de disco.	7.0	350
De pistón.	15.0	
Rotatoria (disco de estrella).	10.0	
De rueda de turbina.	6.0	
Codos		
90° estándar o normal.		50
45° estándar o normal.		16
90° de radio corto.	0.9	41
90° de radio medio.	0.75	
90° de radio largo.		20
Para calle a 90°.		50
Para calle a 45°.		26
Para esquina cuadrada.		57
Curvatura de 180°.	1.6	75
Te normal o estándar.		
Con flujo a todo lo largo (paso recto).	0.4	20
Con flujo a través de la rama (salida lateral) –Usada como L al entrar a una bifurcación.		60
Con flujo que se bifurca.	1.0	
Patrón cerrado de tubo de retorno		50
Acoplamiento	0.04	
Unión	0.04	

Figura C.4. Asperidad relativa como una función del diámetro para tubería de varios materiales.

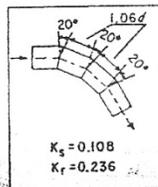
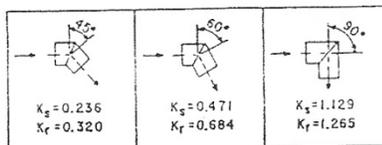


Fuente: Crane®, "Flujo de Fluidos", Volumen 1, Primera Edición, McGraw-Hill, México, 1992.

Figura C.5. Coeficientes de resistencia para accesorios de tuberías

	BELL-MOUTH INLET OR REDUCER K = 0.04-0.05		REGULAR SCREWED 45° ELBOW K = 0.30-0.42		COMPOSITION DISC GLOBE VALVE K = 5.2-7.3		ANGLE VALVE K = 2.1-3.1
	SQUARE EDGED INLET K = 0.47-0.56		LONG RADIUS FLANGED 45° ELBOW K = 0.18-0.20		BEVEL SEAT GLOBE VALVE K = 4.5-7.2		'Y' OR BLOW OFF VALVE K = 2.9
	INWARD PROJECTING PIPE K = 0.62-1.0		SCREWED RETURN BEND CLOSE-PATTERN K = 0.75-2.2		PLUG DISC GLOBE VALVE K = 7.2-10.3		FOOT VALVE K = 15
NOTE: K DECREASES WITH INCREASING WALL THICKNESS OF PIPE AND ROUNDING OF EDGES			FLANGED RETURN BEND COMPOSED OF TWO 90° FLANGED ELBOWS REGULAR K = 0.38 LONG RADIUS K = 0.23		WEDGE DISC GATE VALVE K = 0.05-0.19		COUPLINGS AND UNIONS K = 0.02-0.07
	REGULAR SCREWED 90° ELBOW K = 0.53-0.90		STANDARD SCREWED TEE BRANCH BLANKED OFF K = 0.4		DOUBLE DISC GATE VALVE K = 0.08-0.13		REDUCING BUSHING AND COUPLING
	LONG RADIUS SCREWED 90° ELBOW K = 0.22-0.60	LINE BLANKED OFF FLOW FROM LINE TO BRANCH K = 0.85-1.3 FLOW FROM BRANCH TO LINE K = 0.92-2.15			SWING CHECK VALVE K = 0.6-2.3	USED AS REDUCER K = 0.05-2.0 SEE ALSO FIG. 22 USED AS INCREASER LOSS IS UP TO 40% MORE THAN THAT CAUSED BY A SUDDEN ENLARGEMENT	
	REGULAR FLANGED 90° ELBOW K = 0.21-0.30		LONG RADIUS SCREWED TEE		HORIZONTAL (LIFT) CHECK VALVE K = 3-12	SUDDEN ENLARGEMENT	
	LONG RADIUS FLANGED 90° ELBOW K = 0.14-0.23	LINE BLANKED OFF FLOW FROM LINE TO BRANCH K = 0.37-0.80 FLOW FROM BRANCH TO LINE K = 0.50-0.52			BALL CHECK VALVE K = 65-70	$h = \frac{V_1^2}{2g}$ FEET OF FLUID SEE ALSO EQUATION (9) IF $A_1 = A_2$ SO THAT $V_1 = V_2$ $h = \frac{V_1^2}{2g}$ FEET OF FLUID	

$h = K \frac{V^2}{2g}$ FEET OF FLUID
Resistance coefficients for valves and fittings. §



a/d	K_s	K_f
1.23	0.195	0.347
1.44	0.196	0.320
1.67	0.150	0.300
1.70	0.149	0.299
1.91	0.154	0.312
2.37	0.167	0.337
2.96	0.172	0.342
4.11	0.190	0.354
4.70	0.192	0.360
6.10	0.201	0.360

Note: K values for 3-Miter, 90° Bend only 25-30% lower than above values.

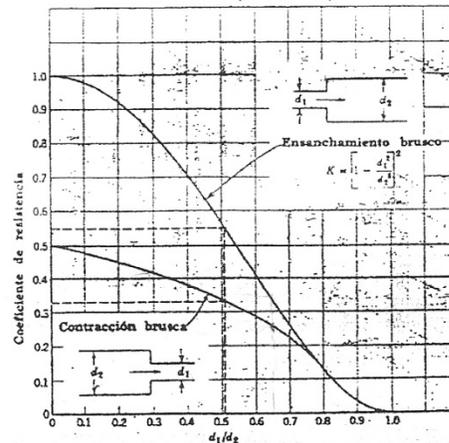
K_s = Resistance Coefficient for Smooth surface
 K_f = Resistance Coefficient for Rough surface, $\epsilon \approx 0.0022$

Resistance coefficients for miter bends at turbulent flow conditions. §

§ Fuente: Ludwig, E., "Design for Chemical and Petrochemical Plants", Second Edition, Volumen 1, Book Division, Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 1977.

† Fuente: Foust, A. y otros, "Principios de Operaciones Unitarias", Segunda Edición, Editorial Continental, México, 1989.

RESISTENCIA DEBIDA A ENSANCHAMIENTO Y CONTRACCIONES BRUSCAS. (CRANE CO.) †



RESISTENCIA DEBIDA A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DE LOS TUBOS. (CRANE CO.) †

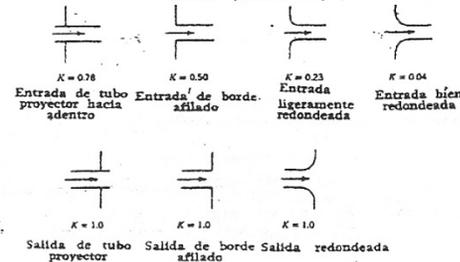
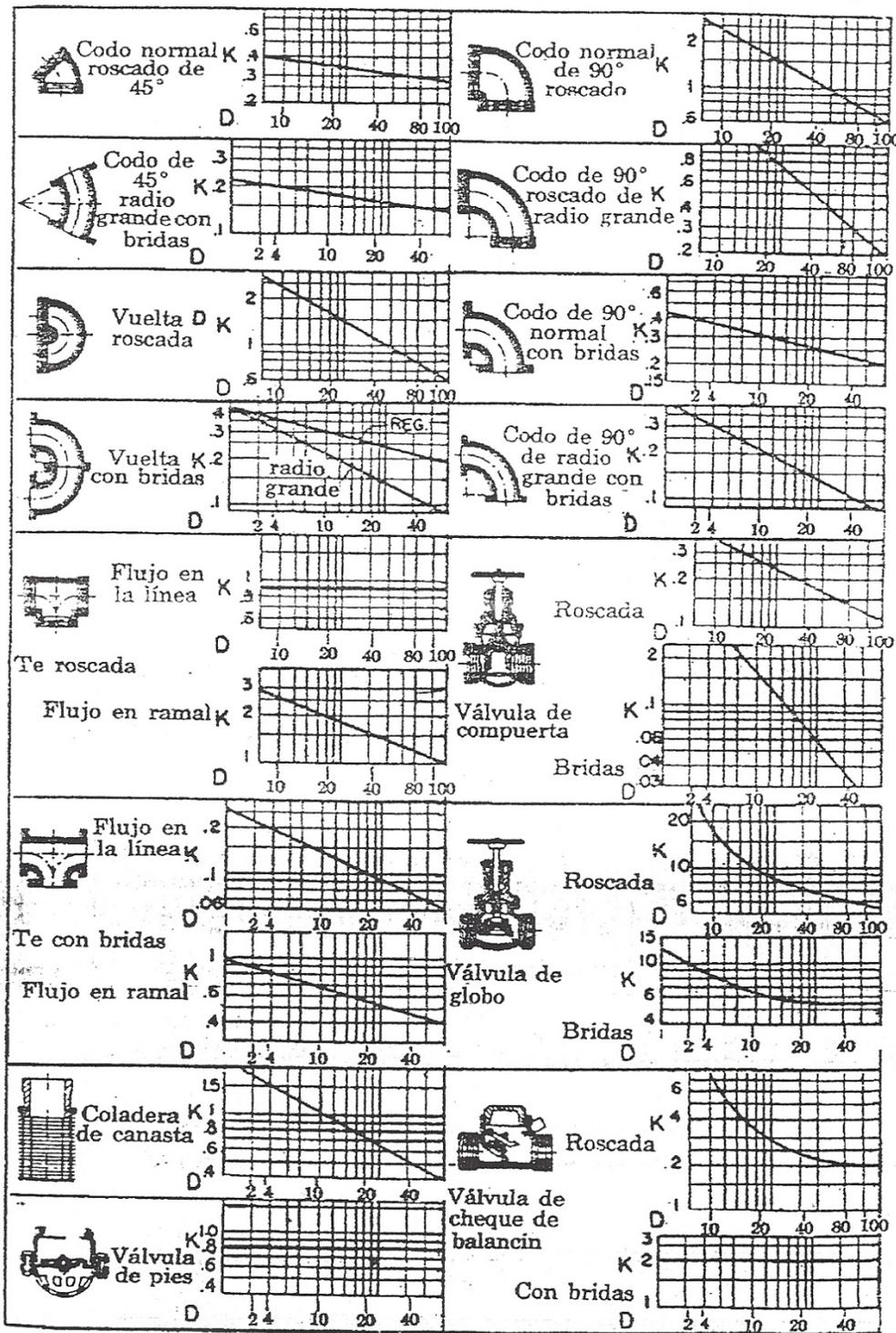


Figura C.5. Coeficientes de resistencia para accesorios de tuberías (Continuación)



$$h = k \frac{v^2}{2g} \text{ metros de fluido.}$$

Figura C.6. Longitudes equivalentes expresadas en metros de tubería rectilínea.

Diámetro D mm	Codo 90°		Cuerpo 90°		Entrada normal		Entrada de Borde		Válvula de globo abierta		Válvula de globo abierta		Válvula de paso directo		T _e salida lateral		T _e salida bilateral		Válvula de recesión tipo brasa		Válvula de recesión tipo pinde	
	Codo largo	Codo	Codo 90°	Codo 90°	Entrada normal	Entrada de Borde	Válvula de globo abierta	Válvula de globo abierta	Válvula de paso directo	T _e salida lateral	T _e salida bilateral	Válvula de recesión tipo brasa	Válvula de recesión tipo pinde	T _e salida lateral	T _e salida bilateral	Válvula de recesión tipo brasa	Válvula de recesión tipo pinde					
13	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6					
19	0.4	0.6	0.7	0.3	0.4	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4					
25	0.5	0.7	0.8	0.4	0.5	0.2	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2					
32	0.7	0.9	1.1	0.5	0.6	0.3	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0					
38	0.9	1.1	1.3	0.6	0.7	0.3	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8					
50	1.1	1.4	1.7	0.8	0.9	0.4	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4					
63	1.3	1.7	2.0	0.9	1.0	0.5	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1					
75	1.6	2.1	2.5	1.2	1.3	0.6	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7					
100	2.1	2.8	3.4	1.5	1.6	0.7	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9					
125	2.7	3.7	4.2	1.9	2.1	0.9	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1					
150	3.4	4.3	4.9	2.3	2.5	1.1	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3					
200	4.3	5.5	6.4	3.0	3.3	1.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0					
250	5.5	6.7	7.9	3.8	4.1	1.8	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0					
300	6.1	7.9	9.5	4.6	5.0	2.2	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0					
350	7.3	9.5	10.5	5.3	5.8	2.5	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0					

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

Tabla C.1. Factores de fricción para tuberías comerciales nuevas de acero con el flujo en la zona de total turbulencia.

Diámetro Nominal		Factor de Fricción (ft)
mm	pulg	
15	1/2	0,027
20	3/4	0,025
25	1	0,023
32	1 1/4	0,022
40	1 1/2	0,021
50	2	0,019
65,80	2 1/2, 3	0,018
100	4	0,017
125	5	0,016
150	6	0,015
200,250	1,10	0,014
300-400	12-16	0,013
450-600	18-24	0,012