EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN

AUTOR: Ing. Martha Gimenez

TUTOR: Prof. Irina León

Valencia, 12 de Agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN

AUTOR: Ing. Martha Gimenez

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al Título de Magister en Ingeniería de Procesos.

Valencia, 12 de Agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN

AUTOR: Ing. Martha Gimenez

Aprobado en el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo por miembros de la Comisión Coordinadora del Programa.

Valencia, 12 de Agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS

VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN,** presentado por: Ing. Martha Gimenez para optar al Título de Magister en ingeniería de Procesos, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como:

Nombre, Apellido, C.I., Firma del Jurado

Valencia, 12 de Agosto de 2015

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme en todo momento para alcanzar mis metas.

A tí papá que me infundiste en el estudio como primer instrumento de valor en la vida. En mi corazón siempre vas a estar vivo.

A mi ángel guardián, madre y padre a la vez, mi mejor amiga, todos mis éxitos te los debo a ti.

A mi princesa Ambar Mabel, para ti mi vida y mis éxitos.

A mi amor, mi fiel amigo y compañero, Jose Luis, por tu gran apoyo, siempre alentando mis esperanzas y desvaneciendo mis preocupaciones.

A mis sobrinos, mis motores de ilusiones y alegrías.

A mis hermanos y hermanas por apoyarme sin excepciones y en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios topoderoso al bendencirme y poder culminar esta meta.

A la profesora Irina por su apoyo incondicional, su experiencia y asesoría.

A la Universidad de Carabobo, por permitirme ingresar a esta magna casa de estudios y adquirir nuevas herramientas de uso profesional.

A la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, porque una vez más me abrió las puertas, permitiendo desarrollar parte de este proyecto de grado en sus instalaciones.

Al personal del Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente los Perozo de la UNEFM, por su gran apoyo en la realización de los análisis.

Al Instituto Universitario Tecnológico Alonso Gamero IUTAG, por brindarme su apoyo en la realización de análisis de laboratorio.

A los técnicos del Laboratorio de Suelos y Laboratorio de Materiales del IUTAG, por su apoyo en el desarrollo de los Análisis y ensayos de laboratorio.

Al profesor Victor Piñero, del IUTAG, por el aporte de sus conocimientos en el área de ingeniería civil, para la fabricación de bloques.

Al personal de Pequiven que participó y aportó en las actividades que se realizaron en dichas instalaciones.

ÍNDICE GENERAL

PP.

VEREDICTO..... iv

DEDICATORIA..... v

AGRADECIMIENTOS..... vi

ÍNDICE DE TABLAS..... x

ÍNDICE DE FIGURAS..... xv

RESUMEN..... xvi

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema..... 3

1.2. Formulación del problema..... 4

1.3. Objetivos de la investigación..... 5

1.3.1. Objetivo general..... 5

1.3.2. Objetivos específicos..... 5

1.4. Justificación..... 6

1.5. Limitaciones..... 7

1.6. Alcance..... 7

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes..... 9

2.2. Bases teóricas..... 12

2.2.1. Origen del fosfoyeso..... 12

2.2.2. Propiedades del fosfoyeso..... 14

2.2.3. El fosfoyeso y el medio ambiente..... 18

2.2.4. Aplicaciones del fosfoyeso……... 19
2.2.5. Manejo de sólidos……..... 23

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio y de investigación……... 30
3.2. Diseño de la investigación……... 31
3.2.1. Fase I. Diagnóstico de las características fisicoquímicas y selección de la aplicación del fosfoyeso……..... 31
3.2.2. Fase II. Acondicionamiento del fosfoyeso…… 44
3.2.3. Fase III. Diseño de proceso a escala piloto para el acondicionamiento de fosfoyeso y estimación de costos del mismo……. 49
3.2.4. Propuesta de recomendaciones ambientales……. 55
3.3. Población y muestra……..... 56

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico de las características fisicoquímicas del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón (CPM)..… 58
4. 2. Selección de la aplicación del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico, de acuerdo a sus características fisicoquímicas…….. 64
4.2.1. Selección de la aplicación del fosfoyeso de acuerdo a sus características fisicoquímicas……..... 66
4.2.2. Selección de la aplicación del fosfoyeso de acuerdo a criterios técnicos y económicos……... 66
4.3. Acondicionamiento a nivel de laboratorio del fosfoyeso de acuerdo a la aplicación seleccionada……... 70
4.3.1. Etapa 1. Formulación de la mezcla……... 70
4.3.2. Etapa 2. Mezclado……. 72
4.3.3. Etapa 3. Fabricación de bloque…… 73
4.3.4. Etapa 4. Fraguado……..... 74

4.4. Diseño de proceso a escala piloto para el acondicionamiento de fosfoyeso……..... 75
4.4.1. Balance de masa…… 75
4.4.2. Selección de equipos……. 79
4.4.3. Diagramas de procesos…….. 96
4.4.4. Descripción del proceso…… 100
4.5. Estimación de costos asociados a la implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso…… 105
4.6. Propuesta de recomendaciones ambientales…… 114

CONCLUSIONES…… 117

RECOMENDACIONES…….. 119

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….. 120

APÉNDICES…….. 127

Apéndice A. Ecuaciones aplicadas……. 127
Apéndice B. Calculo de las características fisicoquímicas……. 140
Apéndice C. Balance de masa……. 158
Apéndice D. Cálculos de equipos……... 163
Apéndice E. Cálculos para estimación de costos asociados a la implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso……. 183
Apendice F. Gráficos y figuras utilizadas……... 185
Apéndice G. Tablas de referencia……. 195

ANEXOS……. 203

ÍNDICE DE TABLAS

PP.

Tabla 2.1. Propiedades mecánicas del fosfoyeso……. 14

Tabla 2.2. Propiedades químicas del fosfoyeso……... 15

Tabla 2.3. Propiedades físicas del fosfoyeso…… 16

Tabla 2.4. Resumen de aplicaciones de fosfoyeso……... 20

Tabla 2.5. Tipos de alimentadores…… 24

Tabla 2.6. Principales transportadores de sólidos…… 26

Tabla 3.1. Alícuotas de solución patrón para determinación de P2O5…… 36

Tabla 3.2. Soluciones patrón para curva de calibración de materia orgánica…… 40

Tabla 3.3. Escala de valores para criterios de selección……. 43

Tabla 3.4. Diseño experimental de pruebas para formulación de la composición de la mezcla para bloques de fosfoyeso…….. 45

Tabla 4.1. Características fisicoquímicas determinadas en el fosfoyeso del CPM…….. 58

Tabla 4.2. Características fisicoquímicas del fosfoyeso del CPM, determinadas por varios autores…… 59

Tabla 4.3. Matriz de selección de usos del fosfoyeso según sus características fisicoquímicas……... 64

Tabla 4.4. Comparativa de alternativas de uso del fosfoyeso en función de criterios técnicos y económicos…… 67

Tabla 4.5. Resultados de resistencia a la compresión a briquetas elaboradas con diferentes composiciones de mezcla…… 70

Tabla 4.6. Características de los bloques……. 76

Tabla 4.7. Balance de masa de proceso a escala piloto para fabricación de bloques con fosfoyeso…….. 78

Tabla 4.8. Dimensionamiento de cinta transportadora……. 80
Tabla 4.9. Características de transportador de banda por proveedor Maskepack para pequeñas cargas…… 81
Tabla 4.10. Dimensiones de tolva de alimentación…….. 83
Tabla 4.11. Tubería perforada para alimentación de agua……... 84
Tabla 4.12. Resultados de dimensionamiento de mezclador…… 85
Tabla 4.13. Resultados de dimensionamiento de elevador de cangilón……..... 86
Tabla 4.14. Dimensiones de tolva de alimentación…….. 87
Tabla 4.15. Dimensionamiento de cilindro de compactación……. 88
Tabla 4.16. Dimensionamiento de cilindro de desplazamiento de molde…… 89
Tabla 4.17. Valores obtenidos para selección de bomba hidráulica…… 91
Tabla 4.18. Estimación de costos por ingeniería…….. 105
Tabla 4.19. Listado de materiales, equipos e instrumentos del proyecto y su estimación de precios……... 108
Tabla 4.20. Resumen de estimación de costos de ingeniería de detalle, procura e instalación de planta piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso…… 112
Tabla 4.21. Concentración típica y máxima de actividad en los materiales de construcción y subproductos industriales más comúnmente utilizados como materiales de construcción en la Unión Europea……. 116
Tabla B-1. Determinación de densidad real de fosfoyeso, suelo y cemento…… 141
Tabla B-2. Determinación de pH……. 142
Tabla B-3. Determinación de finura……. 143
Tabla B-4. Porcentaje de fosfoyeso pasante en tamiz N◦ 4,75……. 144
Tabla B-5. Resultados de tamizado de suelo…… 145
Tabla B-6. Determinación de tiempo de fraguado……... 146
Tabla B-7. Determinación de Humedad en suelo……. 146
Tabla B-8. Datos para la curva de calibración de flúor…… 149

Tabla B-9. Datos obtenidos mediante método para determinación de flúor…… 149
Tabla B-10. Datos para la curva de calibración de P_2O_5 150
Tabla B-11. Lectura de contenido de P_20_5 para cada alícuota de dilución…….. 151
Tabla B-12. Determinación de densidad aparente…… 152
Tabla B-13. Determinación de porcentaje de evaporación en briquetas……. 153
Tabla B-14. Determinación de humedad en briquetas finales……. 154
Tabla B-15. Determinación de resistencia a la compresión…… 155
Tabla C-1. Corrientes de proceso……. 158
Tabla C-2. Estimación de pérdidas en peso del proceso a escala piloto…….. 159
Tabla D-1. Resultados de dimensionamiento de cilindro de compactación…… 176
Tabla D-2. Resultados de dimensionamiento de cilindro de desplazamiento de molde…… 177
Tabla G-1. Condiciones límites típicos de operación de los alimentadores de banda articulada según Norma PDVSA MDP-11-MT-01……... 195
Tabla G-2. Rangos de capacidad de las correas transportadoras……. 195
Tabla G-3. Velocidades máximas de las correas transportadoras…… 197
Tabla G-4. Factores de fricción y longitud…….. 197
Tabla G-5. Factor de peso de las partes móviles de la correa…….. 198
Tabla G-6. Diámetros mínimos del rodillo tractor para correas…….. 198
Tabla G-7. Factores envolventes para rodillos tractores…….. 199
Tabla G-8. Clasificación de los rodillos simples…….. 199
Tabla G-9. Factor especial de capacidad por el tipo de paso…….. 200
Tabla G-10. Factor especial de capacidad por tipo de hélice (CF2)…… 200
Tabla G-11. Factor especial de capacidad por paletas mezcladoras (CF3)……. 200
Tabla G-12. Factor de diámetro del agitador……... 200
Tabla G-13. Factor del tipo de rodamiento…….. 201
Tabla G-14. Factor debido al porcentaje de carga……..... 201
Tabla G-15. Factor de paletas por paso…… 201

Tabla G-16. Factor de eficiencia de la transmisión…….. 202
Tabla G-17. Tipos de aceites hidráulicos comerciales……. 202

ÍNDICE DE FIGURAS

PP.

Figura 3.1. Frasco de Le Chatelier para determinación de densidad……... 32

Figura 3.2. Tamices Nº 200 (a) y Nº 325 (b)……... 33

Figura 3.3. Determinación de tiempo de fraguado…….. 34

Figura 3.4. Prueba de fraguado.……... 35

Figura 3.5. Equipo para la determinación de flúor……... 37

Figura 3.6. Determinación de P2O5.…… 38

Figura. 3.7. Muestras digestadas para determinación de materia orgánica…….. 41

Figura. 3.8. Determinación de pH en muestras de fosfoyeso……... 41

Figura 3.9. Elaboración de briquetas de prueba. …… 44

Figura 3.10. Determinación de resistencia a la compresión. …….. 47

Figura 3.11. Mezclado……..... 47

Figura 3.12. Fabricación de briquetas…… 48

Figura 3.13. Fraguado de briquetas. …… 49

Figura 3.14. Flujograma genérico de proceso de muestreo…….. 57

Figura 3.15. Homogeneización y cuarteamiento de la muestra..... 57

Figura 4.1. Ensayos de resistencia a la compresión. ……... 71

Figura 4.2.Mezcla elaborada a velocidad de 580 ± 25 r/min……... 73

Figura 4.3. Desmolde de briquetas moldeadas……. 74

Figura 4.4. Esquema de circuito hidráulico seleccionado…… 94

Figura 4.5. Diagrama de bloque de proceso a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso…… 95

Figura 4.6. Diagrama de flujo de proceso a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso……. 96

Figura 4.7. Diagrama de flujo de proceso 2, a escala piloto para producción de

bloques de fosfoyeso …….. 97
Figura 4.8. Diagrama de tubería e instrumentación a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso…… 98
Figura 4.9. Diagrama de simbología y leyenda ……. 99
Figura F-1. Esquema de bloque según CONVENIN 42-82…… 187
Figura F-2. Esquema de alimentador de correa (belt feeder)…… 187
Figura F-3. Esquema de cinta transportadora…….. 188
Figura F-4. Variación del factor de temperatura Kt con la temperatura…….. 188
Figura F-5. Relaciones entre fluencia, ángulo de sobrecarga y ángulo de reposo... 189
Figura F-6. Dimensionamiento de caja de alimentación…….. 189
Figura F-7. Factor de sobrecarga……..... 190
Figura F-8. Esquema de mezclador…….. 190
Figura F-8. Catálogo CICSA para elevadores de cangilón…….. 191
Figura F-9. Moldes para prensa hidráulica…….. 192
Figura F-10. Factor debido al porcentaje de carga……... 192
Figura F-11. Nomograma de capacidad de caudal…….. 193
Figura F-12. Tabulador para sueldos y salarios mínimos para profesionales CIV año 2014……... 194

RESUMEN

¨EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ÁCIDO FOSFÓRICO DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN¨. Ing. Gimenez Martha. Ing. Leon Irina. Noviembre 2014.

En el presente proyecto de investigación de campo, experimental y factible se evaluó la utilización del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón, con el objeto de darle un valor agregado a este subproducto y minimizar el impacto ambiental que este pueda causar. Se aplicaron análisis volumétricos, gravimétricos e instrumentales para determinación de características fisicoquímicas del fosfoyeso. Se evaluaron alternativas de uso del fosfoyeso con respecto a sus características fisicoquímicas y criterios técnicos y económicos resultando como mejor opción la fabricación de bloques. Se aplicaron técnicas y procedimientos para producción de bloques a escala laboratorio, con una mezcla conformada por 49 % de fosfoyeso, 29 % de suelo, 10 % de suelo y 12 % de agua, mezclado a 140 rpm por 2 min, compactación a 50 psi y fraguado a condiciones ambientales, logrando obtener briquetas con resistencia a la compresión de 28,79 kg/cm^2, que cumplen los requisitos de la norma COVENIN 42:82 para bloques de paredes que no soporten cargas. Se realizó el diseño de proceso a escala piloto con: alimentación de la materia prima por alimentador de correa, adición de agua potable en tubería ½" acero al carbono galvanizado con una válvula y contador de volumen, mezclado en tanque cilindro horizontal con agitador de paletas, transporte de la mezcla con elevador de cangilones y un circuito de prensa hidráulica para moldeo y compactación de bloques. Se estimó una inversión total de 1.139.887,0 Bs. para ingeniería, procura e instalación de la planta piloto. Por último, se evaluó la propuesta de proceso a escala piloto considerando el Decreto venezolano Nº 883 de Normas Para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.

Palabras claves: Fosfoyeso, evaluación, bloque, selección, compactación.

INTRODUCCIÓN

El fosfoyeso o sulfato de calcio dihidradato, es un subproducto originado en la producción de ácido fosfórico por vía húmeda, donde la roca fosfática es digerida por ácido sulfúrico y agua, obteniéndose hasta seis (6) toneladas de fosfoyeso por cada tonelada de pentóxido de fósforo (P_2O_5). Aunque se han determinado posibles usos de este subproducto, como por ejemplo en rellenos de pavimento, como acondicionador de terreno y cultivos, elaboración de concreto y productos prefabricados, entre otros usos, es tratado comúnmente como desecho y su destino suele ser generalmente el apilamiento, trayendo como consecuencia un gran impacto paisajístico.

En Venezuela, se producen considerables cantidades de fosfoyeso diariamente en la Planta de Ácido Fosfórico del Complejo Petroquímico Morón, en la cual se ha ido acumulando en pilas desde hace varios años. Este fosfoyeso, al igual que en la mayor parte del mundo, es desechado sin utilizarlo, alcanzado para el año 2011, según Rangel (2011) un acumulado de aproximadamente 2.553.048,00 m^3 de fosfoyeso, que además del impacto paisajístico, pudiera ocasionar problemas de salud en las poblaciones aledañas.

El presente proyecto de investigación de campo, experimental, factible y novedoso, pretende dar un aporte de solución a este problema y su objetivo principal es la evaluación de la utilización del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón. Para ello, se realizó un diagnóstico de las características fisicoquímicas del fosfoyeso producido en la planta, se seleccionó la aplicación del fosfoyeso producido, se acondicionó el fosfoyeso a nivel de laboratorio de acuerdo a la aplicación seleccionada, se diseñó el proceso a escala piloto para acondicionamiento del fosfoyeso, se estimaron los costos asociados a la

implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso y por último se realizaron propuestas de recomendaciones ambientales para evitar posibles contaminaciones a causa de la manipulación de los materiales empleados.

Los análisis de laboratorio tanto para el diagnóstico de las características fisicoquímicas como para el acondicionamiento del fosfoyeso, se realizaron en el Laboratorio de Materiales y el Laboratorio de Suelos del IUTAG, y en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM, utilizando métodos estandarizados en dichos laboratorios, con referencia de normas como COVENIN, ASTM, A.O.A.C., entre otros.

Toda esta información se estructuró en cinco capítulos. En el capítulo I se define el problema al cual se quiere aportar una solución. En el capítulo II, se asientan las bases teóricas, los antecedentes que sustentan la investigación. En el tercer capítulo se refleja la metodología, que contiene, tipo y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y fases de la investigación. En el capítulo IV se plasman los resultados de la investigación, datos que permitieron descifrar las características fisicoquímicas del fosfoyeso, en base a las cuales y sobre criterios técnicos y económicos, se seleccionó el uso del fosfoyeso para producción de bloques, se logró acondicionar el fosfoyeso para tal fin, se diseñó el proceso a escala piloto, se estimaron los costos asociados al mismo y se evaluó la propuesta desde el punto de vista ambiental.

Se logró obtener un bloque a escala piloto, que cumple con los requisitos mínimos establecidos en la norma COVENIN 42-82. Se diseñó un modelo de planta piloto para producción de bloques por lote, integrando como principales equipos un mezclado horizontal y una prensa hidráulica para moldeado.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo, se describe el problema de la investigación y los objetivos propuestos para solventar el mismo, la justificación de la realización del proyecto, las limitaciones que retrasaron el logro de los objetivos, así como el alcance de dicha investigación.

1.1. Planteamiento del problema

El ácido fosfórico (H_3PO_4) se produce generalmente por vía húmeda, donde se mezclan el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y roca fosfática de origen sedimentario, formándose un lodo que contiene ácido fosfórico y fosfoyeso (sulfato de calcio dihidratado - $CaSO_42H_2O$), los cuales son separados posteriormente. La cantidad de fosfoyeso producida por unidad de ácido fosfórico varía de 4 a 6 toneladas por cada tonelada de pentóxido de fosforo (P_2O_5) producido, dependiendo de la composición de la roca que le dio origen. La producción mundial de ácido fosfórico es estimada en 11 millones de toneladas de fosforo anualmente, resultando en una producción de aproximadamente 125 millones de toneladas métricas (TM) de fosfoyeso, de la cual sólo el 4% ha venido usándose en la agricultura y en la industria de cemento y carreteras, acumulándose alrededor de 120 millones toneladas de fosfoyeso anualmente. El fosfoyeso producido generalmente es tratado como residuo, tanto que la producción mundial anual del mismo, no se relaciona con su consumo y reciclaje, y no sobrepasan el 9% de lo producido, causando o tendiendo a un desfavorable impacto ambiental. (Silva, 2011).

En el Complejo Petroquímico Morón (CPM), ubicado en Morón, edo. Carabobo, se produce ácido fosfórico por vía húmeda. El fosfoyeso producido ha sido almacenado en una laguna durante varios años. Actualmente este complejo tiene previsto ampliar la capacidad de la unidad de producción de ácido fosfórico de 240 a 600 toneladas métricas por dia (TMD), por lo que se incrementará 2,5 veces la cantidad de fosfoyeso producido (más de 3000 TMD de yeso en base seca). Como consecuencia, se deberá disponer de grandes áreas para disposición del fosfoyeso. Esta gran cantidad de residuos sólidos, pueden representar un problema de impacto ambiental debido a contaminación de área superficial, contaminación de subsuelo (por lixiviación), por otro lado, su disposición final incrementa los costos de producción de ácido fosfórico. Además, se ha demostrado que el fosfoyeso posee potencialidades de uso en la construcción, como acondicionador del terreno de cultivo, entre otros.

Con la presente evaluación de la utilización del fosfoyeso, con base a sus características físico químicas y posibles usos, se establece un proceso de acondicionamiento y procesamiento de este residuo a escala piloto, que pude ser extrapolado a escala industrial, permitiendo así, la posibilidad de darle un aprovechamiento al fosfoyeso, disminuyendo las pérdidas de la producción de ácido fosfórico, además de minimizar el problema de impacto ambiental que puede generar este residuo.

1.2. Formulación del problema

La acumulación de fosfoyeso en el CPM, sus respectivos costos para disposición final y los problemas ambientales que esto puede acarrear, se pueden disminuir mediante la selección adecuada de un uso industrial del fosfoyeso y la respectiva implementación de un diseño de proceso para su acondicionamiento.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la utilización del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de las características fisicoquímicas del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del Complejo Petroquímico Morón.

2. Seleccionar la aplicación del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico, de acuerdo a sus características fisicoquímicas.

3. Acondicionar a nivel de laboratorio el fosfoyeso de acuerdo a la aplicación seleccionada.

4. Diseñar el proceso a escala piloto para acondicionamiento del fosfoyeso.

5. Estimar los costos asociados a la implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso.

6. Proponer recomendaciones ambientales para evitar posibles contaminaciones a causa de la manipulación de los materiales empleados.

1.4. Justificación

En el CPM se produce gran cantidad de fosfoyeso que solo es almacenado, mientras que se ha demostrado en diversas investigaciones que este material puede utilizarse para la agricultura o la industria de la construcción, por lo que en este proyecto se plantea el aprovechamiento de este subproducto, de esta manera se puede disminuir la cantidad de fosfoyeso almacenado y sus consecuentes problemas de contaminación ambiental.

Por otro lado, a nivel económico, el manejo de las grandes cantidades de fosfoyeso producido diariamente incrementa los costos de producción de ácido fosfórico. Con el planteamiento de este proyecto se pretende dar un uso comercial al fosfoyeso, por lo que su tratamiento podría generar ganancias en vez de pérdidas.

Experimentalmente, en este proyecto se determinan condiciones y operaciones unitarias para el acondicionamiento del fosfoyeso, que pueden ser de utilidad en investigaciones referentes a este subproducto.

A nivel ambiental, este proyecto puede ayudar a disminuir la contaminación de área superficial y de subsuelo, ya que con el uso a plantear del fosfoyeso se puede reducir o eliminar su acumulado.

A nivel personal, este proyecto además de ser un reto y aporte para conocimientos profesionales en materia de manejo de fosfoyeso, residuos y aplicación de tecnologías para diseño de procesos, aplicación de métodos volumétricos, gravimétricos e instrumentales para determinación de parámetros fisicoquímicos, también representa un requisito para optar al título de magister en Ingeniería de Procesos.

1.5. Limitaciones

Entre las limitantes que se tuvieron para el desarrollo de este proyecto se encuentran:

- Escasa data de información de características fisicoquímicas del fosfoyeso, lo que trajo como consecuencia, mayor tiempo de desarrollo del proyecto, puesto que se debieron aplicar los respectivos métodos de determinación de los parámetros requeridos.

- Inicialmente, el proyecto estaba planteado para realizarlo en conjunto con Pequiven y la Universidad de Carabobo, sin embargo, no se llevó a cabo el convenio. Por falta de recursos económicos y de laboratorio, no se pudieron realizar algunos análisis en el fosfoyeso como: índice de radioactividad, contenido de yeso, sulfato, magnesio y aluminio.

- Escasez de equipos y/o reactivos en laboratorios para realizar las respectivas pruebas, lo que prolongó el tiempo de desarrollo de los análisis.

- Confidencialidad de información de Pequiven.

1.6. Alcance

Este estudio se realizó con fosfoyeso almacenado en el CPM el cual es un subproducto de la producción de ácido fosfórico, tiene su aplicación en las plantas productoras de ácido fosfórico por vía húmeda. Los análisis correspondientes se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM, el Laboratorio de Materiales y el Laboratorio de Suelos del IUTAG.

En el desarrollo, se aplicaron métodos de análisis volumétricos, gravimétricos e instrumentales para la identificación de las propiedades del fosfoyeso necesarias. Se seleccionó la aplicación del fosfoyeso de acuerdo a sus características fisicoquímicas, y se aplicaron técnicas y procedimientos en laboratorio de acuerdo a sus fundamentos para su adecuación, seguido se aplicaron los respectivos cálculos para el balance de masa y se diseñaron los equipos a escala piloto. Para dicho diseño, se estimaron los costos de ingeniería de detalles, procura e instalación y se analizó el proceso desde el punto de vista de emisiones que pudiesen ocasionar daños ambientales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Debido a que todo proceso productivo trae como consecuencia diversos residuos o desechos que producen un impacto ambiental en su disposición final, en los últimos años se ha promovido la investigación acerca de tratamientos, preservación y características potenciales de residuos industriales, a fin de minimizar el impacto ambiental provocado, y a la vez aprovechar la materia prima al máximo. En este sentido, en las industrias petroquímicas o mineras se han realizado diferentes estudios sobre la utilización del fosfoyeso para darle utilidad a dicho desecho. A continuación se hace referencia a algunos trabajos de investigación de este tipo así como también las bases teóricas, que constituyen aportes y/o sustentan esta investigación.

2.1. Antecedentes

Castillo, P. y Tovar, W. (2009), evaluaron las principales propiedades físico-mecánicas de un subproducto generado en el proceso de obtención del ácido fosfórico (fosfoyeso) y de morteros de cemento con sustituciones parciales del 5,10, 15 y 20 % de fosfoyeso por cemento en su estado fresco y endurecido. Dicho fosfoyeso provino del CPM. Se realizó un estudio de las propiedades físicas de morteros de cemento portland tipo I y de fosfoyeso en condiciones seco y calcinado, y en morteros con combinaciones de ambos materiales, en estado fresco, a través de ensayos de consistencia, fraguado y finura. Se realizó el estudio de las propiedades físico-químicas de dichos morteros en estado endurecido, mediante ensayos de resistencia a la comprensión, absorción y porosidad. Se determinó la concentración de metales potencialmente tóxicos en el fosfoyeso, estableciéndose que este debe ser estudiado

por expertos. Se evidenció que en el ensayo a comprensión, tanto las mezclas patrón como las elaboradas con sustituciones parciales del 5, 10, 15 y 20% de fosfoyeso por cemento, no superaron el valor mínimo de la resistencia requerida por la norma para cemento portland tipo I, aunque la mezcla 95% cemento + 5% fosfoyeso seco presentó un valor de resistencia superior al de la mezcla patrón, y es la combinación que afecta de manera menos negativa al resto de las propiedades de calidad del cemento. Se concluyó que se puede tomar en cuenta el uso de este material y que deben continuarse investigaciones en esta área para hallarle un uso eficiente.

Carrillo A (2008), realizó experimentos cinéticos y de sorción en equilibrio con tres elementos tóxicos: arsénico (As), cadmio (Cd) y titanio (Ti) en un suelo ácido enmendado con dos subproductos (fosfoyeso y espuma de azucarería, ricos en yeso y carbonato cálcico, respectivamente) a diferentes temperaturas. El objetivo fue evaluar la posibilidad de la aplicación de estos subproductos para mejorar la capacidad de retención de As, Cd y Ti en un suelo ácido. Los resultados permitieron concluir que las enmienda espuma + fosfoyeso puede aumentar la lixivialidad del Cd a través de la formación de los correspondiente complejos par iónico ligando Cd, además favorece la retención de hidroxi-alumínicos en el suelo, proporcionando nuevas superficies de sorción donde los elementos tóxicos pueden quedar retenidos a través de diferentes mecanismos, reduciendo su extractabilidad y por tanto, su lixiviabilidad potencial, sin embargo los mecanismos de retención inducidos en los suelos tratados con estas enmiendas, no son resistentes a una fuerte acidificación.

Elkhadiri, I., Diouri, A., Boukhari, A., Puertas, F., Vasquez, T. (2002), obtuvieron clinkeres belíticos de sulfoaluminatos por cocción de crudos a temperaturas moderadas hacia 1250°C. Esos crudos se componen de carbonato de calcio mezclados con dos subproductos industriales**:** cenizas volantes pobres en óxido de calcio y fosfoyeso. Los clinkeres obtenidos se caracterizaron a través de difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y por la

determinación de óxido de calcio (CaO) libre. El comportamiento hidráulico de los cementos elaborados de los clinkeres con el 7% de yeso se estudió por DRX, microscopia electrónica de barrido (SEM), FTIR y resonancia magnética nuclear (RMN). Con este trabajo se demostró que la ceniza volante y el fosfoyeso pueden utilizarse para la preparación de crudos para la obtención de clinker belítico de sulfoaluminato.

Espinosa, A., Lobo, D. (1999), evaluaron los efectos del fosfoyeso sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo, para ello llevaron a cabo un ensayo en un suelo franco-arenoso del lote "E" del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (UCV), el cual presenta baja relación calcio: magnesio (Ca: Mg), y problemas en la penetración y movimiento del agua en el perfil. Para ello, utilizaron tres dosis de fosfoyeso de Petroquímica de Venezuela (Pequiven), calculadas en base a mejorar la relación Ca: Mg y superar los problemas de infiltración y mal drenaje, comparando con un testigo, bajo un diseño completamente aleatorio de tres repeticiones cada uno. Las propiedades químicas y fisicoquímicas evaluadas fueron: iones en el complejo de intercambio, capacidad de intercambio catiónico y la relación Ca: Mg. Los resultados permitieron concluir que el fosfoyeso no tuvo efectos significativamente positivos sobre el estado estructural del suelo, sin embargo se logró una tendencia en el aumento de la conductividad hidráulica saturada, mayor penetración de agua en el suelo e incremento de la relación Ca:Mg.

Tayibi, H., Gasco, C., Navarro, N., Lopez, A., Alvarez, A., Yague, L., y Alguacil, J. (2011), aseveraron que en muchos países se ha contemplado el uso alternativo del fosfoyeso en la industria de la construcción, aunque su contenido en radionucleidos naturales puede presentar ciertas restricciones para dicha aplicación, ya que es material clasificado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) como "Technologically enhanced naturally occurring materials" (TENORM:). No obstante, estos inconvenientes podrían paliarse controlando el porcentaje del

fosfoyeso y los niveles de radioactividad en las materias primas a incorporar al cemento y calculando el índice de concentración de actividad (I) en los productos finales. La valorización del fosfoyeso como material de construcción se estudió en este trabajo desde el punto de vista radiológico, desarrollando un nuevo proceso de estabilización/solidificación, obteniéndose un material de características similares al cemento y que presentó menor contenido de radionucleidos naturales que el fosfoyeso inicial. Los niveles de radionucleicos obtenidos son similares a los de algunos materiales de construcción utilizados comúnmente en España, y cumple el límite de excepción europeo recomendado para la exposición gamma externa y avala su uso como material de construcción.

2.2. Bases teóricas

El **fosfoyeso** (en inglés phosphogypsum) es un subproducto industrial de la producción de ácido fosfórico, vía húmeda, usando roca fosfórica y ácido sulfúrico como materia prima. (Silva, 2010).

2.2.1. Origen del fosfoyeso

La producción de ácido fosfórico por vía húmeda es para uso principalmente en la fabricación de fertilizantes fosfatados, poli fosfatos sódicos para detergentes u otras aplicaciones. Se realiza atacando los fosfatos naturales, a partir de la roca fosfórica, con ácido sulfúrico al 70 %, y se genera un subproducto constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hidratado que se denomina fosfoyeso. Por cada tonelada (TON) de ácido fosfórico producido, se generan de 4,5 a 5,5 TON de fosfoyeso por lo que se estima que la producción mundial de fosfoyeso es de unos 100 a 280 millones de toneladas al año (MMTA).

La reacción química simplificada sería la siguiente:

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 10H_2SO_4 + 20H_2O \rightarrow 6H_3PO_4 + 2HF + 10CaSO_4 2H_2O$$

Roca fosfática + Ácido sulfúrico + Agua →Ácido Fosfórico + Ácido Fluorhídrico + Fosfoyeso

Existen tres procesos para la fabricación de óxido de fósforo:

- Proceso dihidratado: es el proceso más estable y es el que requiere una menor inversión inicial de capital y tiene un bajo costo de producción. Es el proceso más utilizado en el mundo. Produce entre 28 a 30 % de ácido fosfórico. Se generan 4,9 TON de fosfoyeso seco por cada TON de ácido fosfórico producido. El fosfoyeso generado contiene un gran número de impurezas.

- Proceso hemi-hidratado: tiene un costo de inversión inicial y de producción más alto que el anterior. Produce entre 40 a 50 % de ácido fosfórico. Genera 4,3 TON de fosfoyeso por ácido fosfórico, es decir se obtiene menor cantidad de residuo y la cantidad de impurezas es también menor.

- Proceso hemi-dihidratado combina las ventajas de las dos anteriores. Es el menos utilizado. Genera 4,9 TON de fosfoyeso por cada TON de óxido de fósforo y el fosfoyeso generado es el que contiene menor número de impurezas de los tres.

Las industrias de producción de ácido fosfórico son consideradas industrias de tipo NORM (Naturally Occurring Radioactive Material). Se trata de industrias convencionales no nucleares que se caracterizan por utilizar en su proceso de producción materia prima que contiene concentraciones elevadas de radionucleidos naturales o bien, debido a las características de su proceso de producción, generan productos comerciales, subproductos o residuos enriquecidos en estos radionucleidos. En España este tipo de industria está sometido al Título VII del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. (CEDEX, 2010).

2.2.2. Propiedades del fosfoyeso

El fosfoyeso tiene unas características distintas a las del yeso obtenido a partir de la roca de yeso y para poder ser utilizado como sustitutivo de este, de forma rentable económicamente, se requiere una mayor investigación.

La naturaleza y características del fosfoyeso están estrechamente influenciadas por la composición y calidad de la roca fosfática, el proceso de fabricación empleado, el método de vertido usado, así como la edad, localización y profundidad de apilamiento (CEDEX, 2010).

En las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 se resumen propiedades determinadas en muestras de siete fábricas distintas de la región de Florida, Estados Unidos (EEUU) y de Huelva.

Tabla 2.1. Propiedades químicas del fosfoyeso

Propiedad	**Muestras procedentes de siete fabricas distintas de Florida**	**Muestras procedentes de Huelva (ensayos realizados en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas - CEDEX)**
Composición química	En seis muestras está comprendida entre 81 a 99 % de Yeso.	Constituida por: 0,2 % alúmina (Al_2O_3), 32 % de óxido de calcio (CaO), 0,3 % de sodio (Na), 3 % de fosfato (PO_4^{3-}), 1 % de dióxido de silicio (SiO_2), 0,6 % de flúor (F), 0,4 % de cloro (Cl), 44,6 % de trióxido de azufre (SO_3), y 17,8 % de agua (H_2O) del yeso.
pH de disoluciones	Varía entre 2,5 a 5,2	Es de 3,7

Fuente: CEDEX, (2010).

Tabla 2.2. Propiedades físicas del fosfoyeso

Propiedad	Muestras procedentes de siete fabricas distintas de Florida	Muestras procedentes de Huelva (ensayos realizados en CEDEX)
Granulometría	Se pueden considerar limos yesíferos, pasa 96 % por el tamiz Una Norma Española (UNE) 0,25. El % de finos pasa por el tamiz UNE 0,08 y está comprendido entre 51 a 80 %. Los tamaños inferiores a 0,01 mm están en una proporción inferior al 10 %. Según la clasificación de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se corresponde con un suelo tipo A-4.	Más del 85 % pasa por el tamiz 0,08, por lo que se puede considerar un limo yesífero.
Densidad del sólido	Varía entre 2,3 a 2,4 g/cm^3	Es de 2,36 g/cm^3
Permeabilidad	Sobre probetas compactadas con el proctor modificado han dado resultados comprendidos entre $9{,}5x10^{-5}$ a $1{,}5x10^{-5}$ cm/s y en caso de muestras compactadas con el proctor normal han variado entre $3{,}5x10^{-5}$ a $4{,}6x10^{-5}$ cm/s.	Sobre probetas compactadas con el proctor modificado el coeficiente de permeabilidad fue de $2{,}3x10^{-5,}$ menor que el coeficiente obtenido con las muestras compactadas con la energía de proctor normal.

Fuente: CEDEX, 2010.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del fosfoyeso

Propiedad	Muestras procedentes de siete fabricas distintas de Florida	Muestras procedentes de Huelva (ensayos realizados en CEDEX)
Densidad	Con el proctor modificado han dado resultados comprendidos entre 1,44 a 1,64 g/cm^3 para humedades óptimas entre 18 a 14 % y con el proctor normal en muestras de fosfoyeso dihidratado, la densidad máxima es de 1,47 g/cm^3 para una humedad óptima de 17 %.	Con el proctor normal se obtuvo una densidad máxima de 1,43 g/cm^3 para una humedad óptima de entre 19,1 % y con el proctor modificado la densidad máxima es de 1,56 g/cm^3 para una humedad óptima de 16,9 %.
Resistencia a compresión	En muestras preparadas con compactación bajo presión estáticas están comprendidas entre 3,4 a 12,4 N/mm2, no habiéndose desmoronado las muestras al saturarse. Muestras saturadas bajo compactación dinámica, se desmoronan en la saturación, poniendo de manifiesto la sensibilidad de este material en agua.	Se obtuvo una resistencia a la compresión simple media de 0,147 Mpa en muestras preparadas con la energía del ensayo proctor normal, y con la energía del ensayo de proctor modificado se obtuvo una resistencia a la compresión simple media de 0,340 Mpa, ambas muestras ensayadas con la humedad de preparación.

Fuente: CEDEX, 2010.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del fosfoyeso (continuación)

Propiedad	Muestras procedentes de siete fabricas distintas de Florida	Muestras procedentes de Huelva (ensayos realizados en CEDEX)
Ensayos triaxiales	Fueron realizados ensayos con confinamiento bajo: 0,7, 1,4 y 2,1 $kg/cm^{2,}$ se han obtenido en todos los casos cohesión nula y ángulos de rozamiento comprendidos entre 43,5 a 50˚.	Se obtuvo ángulo de rozamiento comprendido entre 48 a 54˚, correspondiendo el valor más alto, a la muestra con densidad más elevada (1,6 gr/cm^3). La cohesión está comprendida entre 0,040 a 0,067 Mpa.
Deformidad	De los resultados obtenidos para carga dinámica realizados sobre una capa de fosfoyeso de 27 cm de espesor, este material no se puede considerar adecuado para capas de bases en carreteras.	Se realizó ensayo edométrico con densidad de 1,570 gr/cm3 y contenido de humedad de 13,5 por ciento. Hasta una presión de 147,19 Kpa, apenas se producen asientos diferidos, pero a partir de esta presión, los asientos diferidos aumentan así como el tiempo necesario para su estabilización. Al aumentar la carga a 294,30 Kpa se aprecia este incremento brusco de asientos. La deformación unitaria producida hasta alcanzar la carga de 294,3 Kpa fue de 4 %.

Fuente: CEDEX, 2010.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del fosfoyeso (continuación)

Propiedad	Muestras procedentes de siete fabricas distintas de Florida	Muestras procedentes de Huelva (ensayos realizados en CEDEX)
Resistencia a tracción	Probetas en proctor modificado: aproximadamente 10 % de la resistencia a compresión. En probetas preparadas con compactación estática, varía de 10 a 18 % de la resistencia a la compresión.	No se reportaron resultados.

Fuente: CEDEX, 2010.

2.2.3. El fosfoyeso y el medio ambiente

La mayor parte de fosfoyeso que se genera en el mundo se deposita en balsas de decantación, sin tratamiento, lo que puede representar una fuente potencial de contaminación medioambiental (suelos, agua y atmósfera). Existen por tanto grandes almacenamientos históricos de estos residuos, generalmente en zonas costeras y próximas a núcleos de población, debido a la ubicación de las plantas de ácido fosfórico (CEDEX, 2010).

Según la Agencia de Proteccion Ambiental (EPA) de Estados Unidos (EEUU), los riesgos de contaminación por fosfoyeso, están asociados a que el lodo se asienta en las lagunas artificiales, el agua contenida en el mismo se decanta y junto con el agua de lluvia forman un cabezal hidráulico ejerciendo una fuerza de infiltración de agua ácida hacia los sistemas acuáticos que se encuentren en las cercanías. Si la concentración de esta agua ácida se concentra, ocasiona la contaminación del agua en

el subsuelo (por lixiviación). También se puede tener contaminación de área superficial y difusión de radio (Ra) al aire. Siendo Ra responsable de problemas de salud como cáncer en los pulmones e irritación de garganta y ojos. (Vásquez, 1994).

2.2.4. Aplicaciones del fosfoyeso

La tecnología para la utilización del fosfoyeso se ha desarrollado principalmente en países con escasos recursos naturales de yeso o escasas zonas de almacenamiento para el residuo. Las aplicaciones que se están utilizando a nivel mundial son las siguientes:

- El 70 % del fosfoyeso reprocesado se utiliza en la fabricación de tableros de yeso.
- El 19 % del fosfoyeso reprocesado se utiliza en la fabricación de cemento.
- El 7 % del fosfoyeso reprocesado se utiliza en la agricultura como nutriente de las siguientes formas: para la recuperación de suelos salinos, para el tratamiento de suelos ácidos, para mejorar la infiltración del agua, para reducir la costra en suelos meteorizados.
- Alrededor del 3 % de fosfoyeso, se utiliza en la recuperación de azufre, pero actualmente no existe ningún proceso de recuperación en funcionamiento.
- De manera experimental se ha utilizado el fosfoyeso en diferentes unidades de obra en carreteras. (CEDEX, 2010).

En la tabla 2.4 se presenta un cuadro resumen de las aplicaciones del fosfoyeso.

Tabla 2.4. Resumen de aplicaciones de fosfoyeso

Área	Uso
Construcción	**Cemento y elementos prefabricados**. Se utiliza como regulador de fraguado. El contenido de como fosfatos, flúor, elementos radioactivos y materia orgánica, afecta el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia del cemento. Para disminuir estos contaminantes, es necesario acondicionar el fosfoyeso. El porcentaje de humedad (20 %) hace difícil el transporte y mezclado con el clinker. El fosfoyeso para ser utilizado como aditivo en el cemento son debe poseer: P_2O_5 < 0,5%, F < 0,1%. Los índices de radioactividad se disminuyen con la calcinación.
	Elaboración de concreto. Se realizan mezclas con gran estabilidad de cemento portland con fosfoyeso y agregado convencional. El SO_3 (trióxido de azufre) contenido en el fosfoyeso afecta la durabilidad del concreto. Una investigación en Dhaka Bengladesh, demostró que se puede reemplazar el 50 % del cemento para concreto manteniendo la resistencia a la compresión. En Australia se ha desarrollado un tipo de concreto con estabilidad mecánica de 24 a 27 MPa, denominado "cemento noble", con 21 a 28,5 % de fosfoyeso.
	Construcción de carreteras. Se ha utilizado como aditivo en carreteras, sin embargo este uso está limitado por su costo de transporte y disposición de materiales para la construcción de carreteras (piedra, grava, arena, arcilla). En Venezuela, la mayoría de los suelos presentan serios problemas de expansión y dispersividad, lo cual requiere de una estabilización antes de construir cualquier obra, por lo que se puede evaluar el uso de fosfoyeso como estabilizador de dichos suelos.

Fuente: Vasquez, (1994).

Tabla 2.4. Resumen de aplicaciones de fosfoyeso (continuación)

Área	Uso
Construcción	**Fabricación de bloques**. Se obtienen mediante la calcinación del fosfoyeso. Este proceso es económico. En la Universidad de Miami, se realizó una investigación utilizando de 40 a 60 % de fosfoyeso, 2 a 8% de cemento y 2 a 6% de agua, resultando un bloque superiores a los tradicionales, con: estabilidad a la compresión, módulo de ruptura, excelente densidad y resistencia a la abrasión.
Agricultura	**Recuperador de suelos salinos, salinos-sódicos y sódicos.** Enmienda para recuperar suelos con problemas de sodicidad, supliendo Ca^{+2} para remplazar Na^{+2} intercambiable. La aplicación del fosfoyeso debe ser seguida de un lavado profundo del suelo (interno). Mejora las condiciones físicas del suelo, como la infiltración, favorecimiento del tamaño de los poros y la conductividad hidráulica de los suelos sólidos, facilita la remoción de Na^{+} del suelo en forma de sulfato de sodio (Na_2SO_4). La magnitud de recuperación va a depender de la solubilidad de la enmienda y de la Capacidad del Intercambio Catiónico (CIC) del suelo.
	Conservador de suelos: el fosfoyeso podría aumentar la productividad de suelos susceptibles a la erosión hídrica, mediante los siguientes mecanismos: -Disolución del fosfoyeso aplicado superficialmente y liberación de electrolitos en aguas de escorrentía y de percolación. -El aumento de la concentración de electrolitos en la superficie reduce la ruptura y dispersión de los agregados superficiales. -La formación de surcos y la erosión por surcos son retardadas por la presencia de electrolitos.

Fuente: Vasquez, (1994).

Tabla 2.4. Resumen de aplicaciones de fosfoyeso (continuación)

Área	Uso
Agricultura	**Aportador de macro y micronutrientes para el suelo**. Entre estos se tienen: -Como aportador de fósforo (P), cuando se utiliza en cantidades altas en suelos pobres en este elemento. -Como aportador de calcio (Ca^{+2}) en suelos pobres en este elemento con pH neutro o alcalino. -Como mejorador de la disponibilidad de los micro elementos en el suelo. -Como aportador de azufre a los cultivos.
	Aliviador de toxicidad por aluminio. El fosfoyeso forma complejos Al-F y Al-SO_3 y eleva la fuerza iónica de la solución del suelo, disminuyendo así la cantidad de Al. El yeso natural en comparación con el fosfoyeso, es más soluble, lo que limita su uso a mayores profundidades, debido a esto, es más económico para esta aplicación el uso de fosfoyeso a altas profundidades en comparación con el yeso natural.
Industria del plástico	El fosfoyeso posee alta dispersividad (tamaño de partículas: 5 a 40 μm y un color claro con un coeficiente de refracción entre 1,4 a 1,5), lo que permite obtener los compuestos poliméricos fáciles de entintar. Por otro lado, los investigadores soviéticos han modificado la superficie de las partículas de fosfoyeso, Esto hace que la superficie del mismo sea parcialmente hidrofóbica y parcialmente hidrofílica, así contribuye a la formación de los enlaces de adhesión y permitiendo aumentar: -Las propiedades físico-mecánicas en 1,1 a 1,3 %. -La resistencia al agua en 1,4 a 1,%. -La resistencia al medio ambiente en 2,3 a 2,4 %. -La resistencia al frío ("antifreezing") en 2,7 a 2,8 %.

Fuente: Vasquez, (1994).

Tabla 2.4. Resumen de aplicaciones de fosfoyeso (continuación)

Área	Uso
Industria del papel	Se utiliza como carga mineral en la manufactura del papel en sustitución del caolín, permitiendo: -Aumentar la blancura del papel entre 5 a 7 %. -Aumentar la estabilidad dimensional del papel en un 25 a 30 %. -Aumentar el contenido de ceniza. -Aumentar el porcentaje de carga, de 20 a 30 % en comparación del uso de las cargas tradicionales como caolín y talco. -Tener una menor pérdida de las características mecánicas y un mayor rendimiento global.

Fuente: Vasquez, (1994).

2.2.5. Manejo de sólidos

Alimentadores

Existen muchos tipos de alimentadores, los cuales se utilizan para asegurar un flujo uniforme entre las unidades de almacenaje, manejo y procesamiento de un material sólido a granel. Entre los múltiples usos que se le dan a los sistemas alimentadores se pueden citar: la transferencia de materiales desde los vagones de carga o los camiones de volteo hasta las cintas transportadoras, desde tolvas y silos hasta las unidades de procesamiento y, de productos terminados a empaquetamiento final. En la tabla 2.5 se presentan los tipos más comunes y su característica de uso, lo cual es un parámetro de selección que permite escoger el tipo de alimentador más apropiado para una aplicación requerida. (PDVSA, 1997).

Tabla 2.5. Tipos de alimentadores (continuación)

Equipos	Descripción	Usos
Alimentador de banda articulada	Consiste en una banda metálica articulada con bordes terminados en aletas yuxtapuestas.	Es apropiado para cargas que produzcan impactos durante la transferencia y para manejar materiales gruesos, calientes o abrasivos. No se debe usar con materiales abrasivos muy finos.
Alimentador de correa ("Belt Feeder")	Es básicamente una correa transportadora corta, la cual consiste de una cinta, un rodillo tractor ("drive pulley"), un rodillo tensor ("take–up pulley"), un motor, una caja conectada a la alimentación o a la descarga del equipo asociado al alimentador y, una compuerta.	Pueden ser auto limpiantes y podrán ser usados para aplicaciones que requieran manejar diferentes tipos de materiales sin que exista contaminación. Su mayor aceptación es en el manejo de materiales particulados finos. Pueden proveer un flujo de descarga preciso. No son recomendados para manejar materiales muy pegajosos, calientes o consistentes en trozos grandes con bordes agudos o cortantes.
Alimentador "En Masse" ("En Masse Feeder")	Consiste en un esqueleto articulado compuesto por una serie de aletas de diferentes tipos montadas sobre una cadena sin fin u otro sistema de amarre.	Este tipo de equipo raramente es usado como un alimentador individual. Lo común es que forme parte de un sistema completo de transportador "en–masse".
Alimentador de cortina de cadenas ("Chain Curtain Feeder")	Consiste en un grupo de cadenas sin fin que controlan la descarga de un bajante inclinado.	Se usa principalmente, para el manejo de rocas que van a ser alimentadas a trituradores o cribas en operaciones de minería.
Alimentador de extracción ("Extraction Type Feeder")	La mayoría de esos equipos son del dominio exclusivo de sus fabricantes. Estas unidades efectúan, generalmente, acciones mecánicas por medio de sistemas alimentadores convencionales, tales como brazos mecánicos, conos vibratorios y tornillos sin fin.	Se recomienda que el usuario se involucre con varios fabricantes, llevando a cabo pruebas de campo que permitan comparar los beneficios y limitaciones de cada una de las opciones seleccionadas. De esta forma se podrá llegar a una escogencia final que asegure una operación apropiada.

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-01, 1997.

Tabla 2.5. Tipos de alimentadores (continuación)

Equipos	Descripción	Usos
Alimentador de aletas ("Flight Feeder")	Consiste en una mesa plana sobre la cual el material es arrastrado por medio de una serie de aletas que cubren todo el ancho de la mesa.	Se usa generalmente para materiales livianos y poco abrasivos, tales como carbón y astillas de madera. Materiales consistentes por trozos grandes o completamente finos deberán manejarse con otros tipos de alimentadores.
Alimentador de rodillo ("Roll Feeder")	Consiste en un rodillo similar a los tensores de las cintas transportadoras. Se ubica contiguo al bajante de descarga de una tolva.	El alimentador de rodillo puede ser usado para aislar la tolva ("air lock"), cuando su contenido deba ser descargado en un ambiente cuya presión sea ligeramente superior o inferior al de ésta.
Alimentador de plato reciprocante ("Reciprocating Plate Feeder")	Consiste en una mesa plana apoyada sobre rodamientos y conectada por un brazo a un eje excéntrico ubicado en la rueda motriz. Cuando el plato avanza, impulsa al material hacia adelante. Cuando retrocede, deja un espacio vacío que permite la descarga del material desde la tolva.	Son de bajo costo de inversión y tienen capacidad para manejar un amplio rango de tipos de materiales y de tamaños. No son auto limpiantes. No son recomendados para materiales abrasivos, dado que la acción de deslizamiento del material puede deteriorar el plato tempranamente, a menos que se utilicen materiales de construcción especiales.
Alimentador de mesa rotatoria ("Rotary Table Feeder")	Consiste en un disco horizontal que rota bajo la boca abierta de una tolva..	Se usan en una amplia variedad de industrias, entre las cuales se pueden citar funderías y plantas de pulpa de papel. Los equipos de mayor diámetro se usan, normalmente, para manejar materiales livianos y los de menor diámetro para materiales pesados
Alimentador de paletas rotatorias ("Rotary Vane Feeder")	Se manufacturan comercialmente en dos formas básicas: abiertos o cerrados.	Las unidades abiertas se adaptan mejor al manejo de materiales granulados. Las unidades cerradas, permiten descargar materiales polvorientos con altos niveles de dispersibilidad. Con la excepción de diseños especiales, los materiales húmedos o pegajosos no deben ser manejados por este tipo de equipos.

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-01, 1997

Transportadores de sólidos

Para escoger un tipo de transportador para un determinado requerimiento, se deben citar sus características o limitaciones en cuanto al tipo de material que pueden manejar, longitud mínima y máxima, inclinación, entre otros. En la tabla 2.6 se citan los transportadores de sólidos más comunes y sus principales características. (Industrias I, 2014.)

Tabla 2.6. Principales transportadores de sólidos

Equipos	Descripción	Ventaja
Transportador de Tornillo (de Rosca o Sin Fin)	Consiste en un eje de acero, sobre el cual se desarrolla una espiral, que gira dentro de un canal.	- Se utiliza para materiales abrasivos y no abrasivos, puede transportar cereales, carbón, arena, piedra, clinker de cemento, entre otros. - Se utiliza para el movimiento en horizontal y oblicuo hasta 30º de pendiente. - La longitud máxima de transporte no debe superar los 30 metros. El diámetro máximo a utilizar es de 0,60 metros.
Elevador de Cangilones	Consiste en una cadena (o cinta) sin fin que en sus extremos cuentan con una rueda dentada (o polea). A dicha cadena van unidos cangilones (baldes), a intervalos uniformes. Los cangilones toman el material a transportar en la parte inferior, con el balde que viene invertido, gira y asciende hasta la cabeza superior donde lo descarga.	- Es utilizado para elevar granos, carbón, cenizas, cemento, minerales y rocas en trozos, materiales livianos y secos; granos o en las dragas para la elevación de arena húmeda y materiales pesados y pegajosos. - Efectúa transportes en vertical y con inclinación superior a 45º.
Transportador de Rasquetas (o Paletas)	Consiste en un canal por el que se desplazan paletas, cuya sección se ajusta a la del canal. El material se ubica entre las paletas y con el movimiento de éstas se va desplazando.	- Se utiliza para el movimiento oblicuo con pendiente que no supere los 30º (en algunos casos puede llegar hasta 45º).

Fuente: Industrias I, 2014.

Tabla 2.6. Principales transportadores de sólidos (continuación)

Equipos	Descripción	Ventaja
Cinta transportadora	Consiste en una cinta sin fin con dos poleas, una de las cuales es motora y la otra es conducida. Cuenta con rodillos locos debajo de la cinta (banda), denominados de apoyo para los que se encuentran debajo de la cinta cargada y rodillos de retorno para la cinta que regresa vacía.	- Se utiliza para transporte de materiales en trozos. - Transporta a grandes distancias en horizontal y oblicuo Hasta un ángulo de 25 ºcomo máximo. - Las instalaciones son costosas, de bajo costo de operación, consumo energético y mantenimiento. - Transporta materiales muy finos.
Transportador Redler	Es similar al de paletas, la diferencia estriba en que la sección de la paleta no es igual a la del canal, sino que cubre solo una parte de la misma.	Es especialmente indicado para el transporte de materiales sueltos, secos y abrasivos, tales como cemento, harina, arena, clinker, carbón, entre otros. No se utiliza para materiales húmedos. Se aplican a transporte en horizontal, vertical o con cualquier ángulo. Cuanto mayor sea la inclinación de transporte se requieren perfiles de mayor sección.

Fuente: Industrias I, 2014.

Prensa

La prensa es un equipo que tiene la finalidad de lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material, mediante la aplicación de una carga. De acuerdo al mecanismo de conducción, se clasifican en mecánicas e hidráulicas. A continuación, se presenta una comparación entre ambas, según Reyes (2010).

- Fuerza total en toda la carrera: en ambas es posible mantener el total de la fuerza por lo largo de la carrera.

- Capacidad y costo: las prensas hidráulicas son menos caras, las carreras de 12, 18 y de 24 pulgadas son comunes. Se puede aumentar la capacidad a bajo costo.

- Costo de adquisición: por la potencia de las máquinas hidráulicas, no hay ninguna máquina que dé la misma fuerza por el mismo precio.

- Costo de mantenimiento: las prensas hidráulicas son menos costosas, ya que son bastantes sencillas en su diseño, con pocas partes en movimiento y están siempre lubricadas con un fluido de aceite bajo presión. En las pocas ocasiones de avería casi siempre son defectos menores, sea el empaque, la bobina solenoide y a veces una válvula que son fáciles de refaccionar, se pueden reparar sin tener que hacer maniobras de desmontar piezas de gran tamaño, reduciendo tiempos de mantenimiento y menos afectación en la producción. Por el contrario en las prensas mecánicas, un cigüeñal roto es significativo tanto en el costo de la parte como la pérdida de producción.

- Seguridad de sobrecarga: en la prensa hidráulica no se corre riesgo de romper troqueles o la misma prensa por un excedente de fuerza, porque al tener el máximo de fuerza permitida, se abre una válvula de seguridad.

- Flexibilidad en control: se puede mantener un control en una prensa hidráulica, como lo es la fuerza, carrera, tiempo de trabajo, movimientos con secuencia, velocidad rápida de aproximación y otra de trabajo, distancias de profundidad, por medio de temporizadores, alimentadores, calentadores, entre otros. Por este motivo, estas no solo suben y bajas como las prensas mecánicas.

- Dimensiones: en las prensas hidráulicas son menores.

- Gasto herramental: en las prensas hidráulicas se pueden fabricar las herramientas según las tolerancias de un trabajo especificado, luego ajustar la

fuerza. El hecho de lo mínimo de choque y de vibración les beneficia en más vida en las herramientas.

- Ruido menor: con menos partes móviles y sin rueda volante, el nivel de ruido iniciado por la prensa hidráulica es mucho menos que la mecánica.

- Seguridad: las dos clases si se instalan en la manera apropiada son seguras, pero con los controles a dos manos y los protectores enlazados, las prensas hidráulicas son más fáciles de fabricar con seguridad por el hecho del control completo con el sistema hidráulico.

- Velocidad: no existe ninguna prensa hidráulica que sea tan rápida como una mecánica.

- Alimentación: a diferencia de las prensas mecánicas, las prensas hidráulicas requieren otra fuerza externa para alimentar la materia prima.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo, se describe el tipo de investigación de este proyecto, la metodología empleada para alcanzar el cumplimiento de los objetivos planteados, así como la muestra utilizada para el desarrollo de la investigación.

3.1. Tipo de estudio y de investigación

De acuerdo a Sabino (1992), los diseños de campo se basan en informaciones o datos primarios, obtenidos directamente de la realidad. Según esta definición y el tipo de datos a ser recogidos, el tipo de estudio en esta investigación es de campo.

Según Sabino (1992) también, "un experimento consiste en someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que cada variable produce en el objeto". Por lo tanto, este proyecto es experimental, ya que el estudio se realizó mediante la observación, registro y análisis de las características del fosfoyeso, así como también la aplicación de técnicas de acondicionamiento para permitir el uso del mismo.

Según Perozo, B (2002) es un proyecto factible porque "Pretende aportar la solución a un problema concreto para aplicarla de manera específica a una organización determinada o dirigida a una clase determinada de usuarios". En cuanto

a su finalidad es una investigación aplicada o tecnológica, ya que “Pretende dar un aporte dirigido a la solución de un problema además de generar nuevos conocimientos técnicos”.

Se puede decir que esta investigación es una novedad, ya que plantea un proceso para utilización del fosfoyeso, lo cual no ha sido hecho público o comercializado con anterioridad.

3.2. Diseño de la investigación

Para el logro de los objetivos propuestos se ejecutarán las siguientes fases en forma secuencial.

3.2.1. Fase I. Diagnóstico de las características fisicoquímicas y selección de la aplicación del fosfoyeso

A la muestra de fosfoyeso se aplicaron distintos métodos para determinar características fisicoquímicas, los cuales se describen a continuación.

Determinación de densidad

Se realizó en el Laboratorio de Materiales del IUTAG, siguiendo el procedimiento de la norma COVENIN 492:1994. Para ello, se llenó un frasco de Le Chatelier con kerosene, hasta un nivel comprendido entre las marcas correspondientes a 0 y 1 cm^3, se secó cuidadosamente el interior del frasco sobre el nivel del líquido, se colocó el frasco en posición vertical en un baño de agua y se mantuvo sumergido hasta que las variaciones en la temperatura del líquido del frasco fuesen menores de 0,2 °C, se efectuaron lecturas hasta obtener un valor constante, para verificar que el contenido

del frasco haya alcanzado la temperatura del agua, se registró la primera lectura. Se pesaron aproximadamente 64 g de muestra y se introdujo en pequeñas porciones en el frasco de Le Chatelier (ver figura 3.1), evitando que la muestras se adhiriera a las paredes interiores del frasco, se tapó el frasco y se hizo girar en posición inclinada, o suavemente en círculos horizontales hasta que no subieran burbujas de aire a la superficie del líquido, se registró la lectura final. La densidad se calculó dividiendo el peso de la muestra entre la diferencia de volúmenes obtenida. Se aplicó por triplicado.

Figura 3.1. Frasco de Le Chatelier para determinación de densidad

Determinación de granulometría

Se realizó en el Lab. De Materiales del IUTAG. Para la determinación de la granulometría se hizo pasar una muestra de 60 g por los tamices COVENIN 4,76 (N° 4), COVENIN 75 µm (N° 200, ver figura 3.2), determinando si es agregado fino o grueso.

El agregado fino se sometió a determinación de la finura por medio del cedazo N° 325 siguiendo la norma "COVENIN 489-93, Cemento Portland. Determinación de la finura por medio del cedazo n° 325 (45 micras) 3^{era} Revisión", (ver figura 3.2). Para ello se colocó una muestra 1000 g sobre el cedazo n° 325 (45 micras=limpio y seco),

se humedeció la muestra completamente con una corriente suave de agua, se retiró el cedazo de la boquilla de atomización y se ajustó la presión del agua en ella hasta 0,70±0,035 kg/cm aproximadamente, se colocó el cedazo debajo de la boquilla de atomización y se lavó durante un minuto moviéndolo circularmente en un plano horizontal a la velocidad de una revolución por minuto, se retiró el cedazo de la boquilla, se enjuagó con aprox. 50 mL de agua destilada cuidando de no perder nada de residuo y luego se secó la superficie inferior sobre una tela limpia y húmeda, se secó sobre una placa de calentamiento, se enfrió, se cepilló el residuo en el cedazo y se pesó en una balanza analítica.

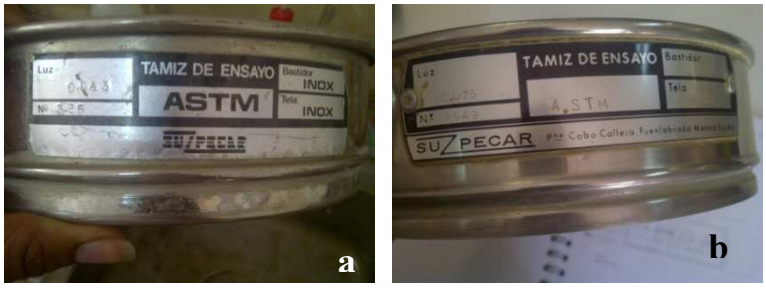


Figura 3.2.Tamicez N° 200 (a) y N° 325 (b)

Determinación de tiempo de fraguado

Se realizó en el Laboratorio de Materiales del IUTAG. Consta de dos fases, la primera consiste en la determinación de la consistencia normal de la mezcla, y la segunda consistió en la determinación del tiempo de fraguado.

Para la primera fase, siguiendo el "Método estándar de ensayo para consistencia normal del cemento hidráulico ASTM C 187-98", se pesó una muestra de 650 g de la muestra y se midió una cantidad de agua destilada con la probeta (inicialmente 70 mL), se agregaron en un tazón y se procedió a mezclarlos (figura 3.3) a una velocidad baja (140 ± 5 r/min) por un período de un min, luego a una velocidad media (285 ±

10 r/min) por un minuto. Se formó una bola con la pasta, arrojándola de una mano a otra por seis veces (procurando que la separación entre las manos fuese de seis pulgadas) o hasta producir una masa de forma cercana a la esférica (ver figura 3.3), y que la misma pudiera ser fácilmente colocada dentro del anillo Vicat con una mínima presión adicional. Se presionó la bola con la palma de la mano dentro del anillo cónico por el lado de mayor diámetro hasta llenarlo en su totalidad. Se quitó el exceso de pasta con las manos y se colocó el anillo limpio con el lado de mayor diámetro sobre la placa de vidrio. Se enrasó el lado superior con una pasada de la cuchara. Se colocó el anillo con la pasta sobre la base del aparato de Vicat y se colocó el émbolo terminal de la aguja hasta hacer contacto con la superficie de la muestra, se tomó una lectura inicial en la escala, y luego se aflojó el tornillo fijador de la aguja accionando a la vez un cronómetro y tomó una lectura final después de 30 segundos. La consistencia normal se consideró cuando el embolo penetró apenas 10 mm en la muestra después de 30 segundos.

Figura 3.3. Determinación de tiempo de fraguado. a) Mezclado de fosfoyeso para determinación de relación óptima agua –fosfoyeso. b) Formación de bola

Inmediatamente se aplicó la segunda fase siguiendo el ¨Método estándar de ensayo para tiempo de fraguado del cemento hidráulico por aguja de Vicat ASTM C 191-

01", para ello se montó el espécimen y la placa de vidrio en el equipo de Vicat (ver figura 3.4), se colocó la aguja de un mm de diámetro debajo del émbolo. Se colocó la aguja en la parte superior de la pasta de cemento, se fijó el tornillo de sujeción y se registró la lectura inicial. Se soltó el émbolo, se dejó que la aguja se asiente por 30 s y se registró la lectura de penetración. Se retiró la aguja y se limpió. Se tomó lecturas sucesivas a intervalos de 15 minutos hasta que una penetración $\leq$ 25 mm. Este se reportó como el tiempo inicial de fraguado. Se continuaron las penetraciones hasta que la aguja no hizo una marca visible en la pasta endurecida. Éste tiempo será reportado como el tiempo de fraguado final. La determinación se realizó por triplicado.

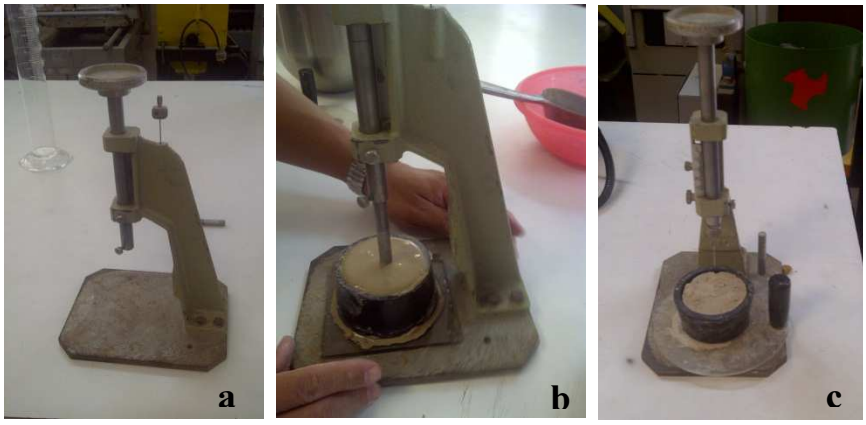


Figura 3.4. Prueba de fraguado. a) Equipo de Vicat. b) Determinación de tiempo de fraguado. C) Muestra fraguada

Determinación de flúor

Se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM. El flúor se determinó electrométricamente mediante el uso de un electrodo selectivo de flúor (ver figura 3.5), acoplado a un potenciómetro, siguiendo el método publicado por Gonzalez (1989).

- **Preparación de reactivos**

Solución patrón de 100ppm de floruro. Se secó durante 2 horas, 2 gramos de floruro de sodio a 120 °C. Se pesaron 0,221 g y se disolvieron en 250 mL de agua destilada y luego se llevó a un litro aforando con agua destilada en un balón volumétrico. Se trasvasó a un envase plástico.

Ácido clorhídrico 5 M. Se colocaron 104,2 mL de ácido clorhídrico concentrado en un balón volumétrico de 250 mL. Se aforó con agua destilada.

Solución amortiguadora de pH 6.0. Se disolvieron 147 g de citrato de sodio en 400 mL de agua destilada en un balón aforado de 500 mL. Se aforó y luego se ajustó el pH a 6,0 con ácido clorhídrico 5 M.

- **Preparación de curva de calibración**

Se prepararon soluciones de 1, 2, 3.5, 5, 7 y 10 ppm de F^- en balones volumétricos de 25 mL, como se indica en la tabla 3.1. Luego a cada solución se agregaron 7.5 mL de solución buffer pH 6,0 y 0,375 mL de ácido clorhídrico (HCl) 5M y se aforó con agua destilada. Se midió el potencial en milivoltios relativo a cada solución. Los datos obtenidos fueron tratados matemáticamente por un análisis de regresión, se graficó expresando la concentración en ppm en el eje logarítmico y el potencial expresado en milivoltios relativo en el eje lineal.

Tabla 3.1. Alícuotas de solución patrón para determinación de flúor

N	Volumen (mL) concentrado para solución final 100 ppm	Volumen final (mL)	ppm F
1	0,25	25	1
2	0,5	25	2
3	0,875	25	3,5
4	1,25	25	5
5	1,75	25	7
6	2,5	25	10

- **Método analítico**

Se pesaron 100 mg de muestra y se trasegaron a un vaso precipitado plástico de 50 mL, se agregó 1,5 mL de HCl 5 M, se esperó de 15 a 20 min hasta que el mineral se disolviera, se agregaron 40 mL de agua destilada y se trasegó a un balón volumétrico de 100 mL, se agregó 30 mL de solución amortiguadora de pH 6,0, se aforó con agua destilada. Se midió el milivoltaje relativo. Por medio del gráfico patrón se buscó la equivalencia de los milivoltios relativos a ppm de flúor. La determinación se realizó por triplicado.

Figura 3.5. Equipo para la determinación de flúor

Determinación de pentóxido de fósforo (P_2O_5)

Se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM, siguiendo la "Norma mexicana NMX-AA-032-1976 Determinación de fósforo total en desechos sólidos (método de fosfavanadomolibdato)".

- **Reactivos y materiales**

Solución de vanadomolibdato. Se disolvieron 40 g de molibdato de amonio $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_20$, en 400 mL de agua caliente y se dejó enfriar. Se disolvieron 2 g de metavanadato de amonio (NH_4VO_3), en 250 mL de agua caliente, se dejó

enfriar y se agregaron 450 mL de ácido perclórico. Se vertió la solución de molibdato de amonio en la solución de metavanadato de amonio y se diluyó a 2 litros.

Solución patrón de pentóxido de fósforo (P_2O_5). Se pesaron 0,1095 g de fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) secado previamente a peso constante en estufa a 105 ^oC; se disolvió en agua, se transfirió aun matraz aforado de 500 mL y se llevó hasta la marca con agua (ver figura 3.6a).

Curva de calibración. De la solución patrón se midieron alícuotas de 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mL, que corresponden a 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 y 5 mg de P_2O_5, respectivamente, y se transfirieron a matraces aforados de 50 mL. Se agregaron con pipeta de 10 mL de solución de vanado molibdato en un tiempo no mayor de 5 minutos para toda la serie de soluciones patrón. Se llevó hasta la marca con agua, se homogeneizó y se dejó reposar 10 minutos. Transcurridos los 10 minutos, se transfirieron las soluciones patrón, se ajustó el colorímetro a lectura "cero" de absorbancia con la solución patrón de 2 mg de P_2O_5 y una longitud de onda de 400 nm. Se elaboró una gráfica tomando como ordenadas los mg de P_2O_5 y como abscisas las lecturas de absorbancia en el espectofotómetro (ver figura 3.6c).

Figura 3.6. Determinación de P_2O_5. a) Soluciones patrón para curva de calibración. B) Espectrofotómetro marca GENESYS10VIS. C) Curva de calibración en espectrofotómetro

Preparación de la muestra. Se transfirió 1,00 g de la muestra de análisis a un vaso de precipitados de 250 mL. Se agregaron 25 mL de ácido nítrico, se cubrió con un vidrio de reloj y se hirvió en la placa de calentamiento durante 30 minutos. Se dejó enfriar, se agregaron 15 ml de ácido perclórico y se hirvió suavemente hasta que desaparecieron los vapores nitrosos. Se enfrió, se agregaron 50 mL de agua y se hirvió durante 5 minutos. Se filtró a través de papel filtro y se recibió el filtrado en un matraz aforado de 250 mL. Se lavó dos veces con agua caliente, se enfrió y se llevó hasta la marca con agua. Se tomó una alícuota de 25 mL y se aforó hasta 100 mL con agua destilada. De esta solución se tomó una alícuota de 20 mL y se transfirió a un balón de 100 mL, se agregaron 20 mL de solución de vanado molibdato. Se llevó hasta la marca con agua, se homogeneizó y se dejó reposar 10 minutos, luego se llevó la muestra a las celdas y se midió la absorbancia y los mg de P_2O_5 directamente en el equipo (ver figura 3.6b). La preparación y lectura de la muestra se hizo por triplicado.

Determinación de contenido de materia orgánica

Se realizó mediante el método estandarizado en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM basado en el método de combustión húmeda (Walkley and Black) modificado.

- **Preparación de reactivos**

Solución sacarosa estándar. Se pesó 1,0318 de sacarosa y disolvió en un matraz aforado de 100 mL con agua destilada.

Sulfato de hierro amoniacal 0,5 M [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$]. Se disolvieron 196,1 g de la sal en 800 mL de agua destilada, se añadió 20 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y se diluyó a 1 L.

Difenilamina. Se disolvieron 0,5 gramos de difenilamina en una mezcla de 100 mL H_2SO_4 concentrado y 20 mL de agua.

Dicromato de potasio 1N. Se disolvieron 49,03 g de $K_2Cr_2O_7$ secado a 104 °C en agua destilada y se diluyó a 1 L.

- **Preparación de curva de calibración**

Se prepararon los patrones de acuerdo a lo indicado en la tabla 3.2. Se tomaron las lecturas y luego se trazó un gráfico en lecturas de patrones vs porcentaje de materia orgánica.

Tabla 3.2. Soluciones patrón para curva de calibración de materia orgánica

Sol. Sacarosa (mL)	Dicromato de Potasio (mL)	H_2SO_4 96%	H_2O	% M.O.
0	5	10	50	0
0,25	5	10	49,75	0,5
0,5	5	10	49,5	1
1	5	10	49	2
1,5	5	10	48,5	3
2	5	10	48	4
2,5	5	10	47,5	5
3	5	10	47	6
3,5	5	10	46,5	7

Procedimiento. Se pesó 1,00 g de muestra y se agregó 5 mL de solución digestora de materia orgánica (dicromato de potasio 1N), se dejó reposar por unos minutos y se adicionó 10 mL de H_2SO_4 concentrado, se mezcló bien y se dejó reposar por 30 min. Se agregaron 50 mL de agua destilada, se mezcló y se dejó reposar durante 24 h aproximadamente (ver figura 3.7). Al día siguiente se pesaron 13 mL de la solución sobrenadante y se centrifugó por 5 min a 3000 rpm. Se extrajo líquido limpio y se tomó lectura en el espectrofotómetro, previamente se ajustó el

cero con un blanco preparado con los mismos volúmenes de agua y reactivo usados en la muestra. Se realizó el procedimiento por triplicado.

Figura. 3.7. Muestras con dicromato de potasio 1 N, en reposo para determinación de materia orgánica

Determinación de pH

Se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM, utilizando un Ph metro, ilustrado en la figura 3.8. Se pesaron 5,00 g de muestra y se agregaron 100 mL de agua destilada. Luego se agito durante 15 min. Se tomó la lectura de pH. Se realizó por triplicado.

Figura. 3.8. Determinación de pH en muestras de fosfoyeso

Determinación de porcentaje de sólidos totales y humedad

Se realizó mediante el método de Determinación de Sólidos Totales de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales A.O.A.C (1990). El procedimiento consistió en pesar una cápsula previamente secada en estufa a 105 º C y luego enfriada en un desecador, luego se le agregaron diez (10,00) gramos de la muestra estudiada. Se llevo a la estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 º C por aproximadamente cuatro (4) horas. Se pesó la muestra secada y previamente enfriada en un desecador. El peso del residuo se reportó como sólidos totales y la pérdida de peso como la humedad en tanto por ciento.

Determinación de la absorción de agua

Se prepararon tres briquetas de fosfoyeso con una pequeña cantidad de agua. Luego de ser secadas a temperatura ambiente por 14 días, se le aplicó la prueba de absorción de agua de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 42-82 en el Laboratorio de Materiales del IUTAG.

Para ello se sumergieron completamente las tres (03) muestras en agua destilada a una temperatura de 22 a 27 °C durante 24 horas, colocadas sobre un soporte en un recipiente de tamaño suficiente para contener las muestras sumergidas en agua y evitando que las mismas estuviesen en contacto con las paredes y el fondo del recipiente. Luego se sacaron las muestras del agua, se secaron con toallas absorbentes y se pesaron inmediatamente. Seguido se secaron las muestras en una estufa a una temperatura de 110 °C a 115 °C, durante un periodo no menor de 24 horas hasta que dos pesadas sucesivas, efectuadas a intervalos de dos horas mostraron una pérdida de peso de no mayor de 0,2 por ciento del peso anterior.

Aplicación de matriz de selección

Para la selección del uso del fosfoyeso, se aplicó una matriz de selección en función de las características fisicoquímicas encontradas en el fosfoyeso. Se aplicaron los siguientes pasos:

Paso 1. Se generaron los criterios por los que se juzgarán las opciones, los mismos corresponden a los requisitos de propiedades para cada uso.

Paso 2. Se estableció la siguiente escala de valores para juzgar cada criterio, de acuerdo a la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Escala de valores para criterios de selección

Descripción	Valor
Satisface más que el requisito	10
Satisface el requisito	7,5
Satisface en parte los requisitos y/o podría ser condicionado	5
Satisface poco el requisito y/o no puede ser condicionado	2,5
No satisface los requisitos	0

Paso 3. Se creó una tabla nombrando las filas con las alternativas, la primera columna con los criterios encontrados para cada alternativa, la segunda columna con los valores correspondientes a dicho requisito que fueron encontrados en el fosfoyeso. Se comparó cada requisito con cada valor encontrado en el fosfoyeso y se calificó de acuerdo a la escala descrita en el paso 2.

Paso 4. Se promedió la calificación final para cada alternativa.

Paso 5. Se determinó la media de la ponderación de los valores establecidos en el paso 2. Finalmente se seleccionaron las alternativas que obtuvieron calificaciones igual o superior a esta media.

Valor de aceptación final = Valor promedio de los valores de ponderación

Valor de aceptación ≥5

Las alternativas resultantes de la selección de acuerdo a las características fisicoquímicas se analizaron luego en función de criterios técnicos y económicos para así seleccionar una opción final. Dichos criterios fueron seleccionados por personal del Departamento de Gerencia de Planificación y Nuevos Desarrollos de Pequiven (Petroquímica de Venezuela) sede corporativa.

3.2.2. Fase II. Acondicionamiento del fosfoyeso

Se aplicaron técnicas a nivel de laboratorio para acondicionar el fosfoyeso, siguiendo los procedimientos más comunes utilizados para la obtención de bloques, los cuales contemplan: dosificación, mezclado, moldeado, fraguado y curado. Se elaboraron briquetas cúbicas macizas de cinco (5) cm de lado (ver figura 3.9). En cada paso, se variaron las condiciones y/o métodos para determinar las mejores condiciones y técnicas de operación. Dichos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Materiales del IUTAG.

Figura 3.9. Elaboración de briquetas de prueba. a) Preparación de mezclas b) Briquetas preparadas con mezclas diferentes

Para la formación de las briquetas se utilizó agua potable, fosfoyeso de Pequiven, cemento portland comercial, y suelo extraído del sector zumurucuare ubicado en la zona sur de Santa Ana de Coro, edo. Falcón.

Etapa 1. Dosificación

Se varió la composición de la mezcla para la elaboración de las briquetas. Para cada formulación se elaboraron las mezclas manualmente y se prepararon las briquetas, las cuales fueron fraguadas a condiciones ambientales (31 C, 1 atm). Se elaboraron tres briquetas para cada formulación. En la tabla 3.5, se presentan las variaciones en la composición de la mezcla. Cabe destacar que la cantidad de agua se colocó en cada mezcla agregando la misma hasta que la mezcla fuese moldeable.

Tabla 3.4. Diseño experimental de pruebas para formulación de la composición de la mezcla para bloques de fosfoyeso

N	Componentes de la mezcla (Relación)	Composición de la Mezcla
1	Fosfoyeso – agua	85% fosfoyeso +15% agua
2	Suelo – agua	80 % suelo + 20% agua
3	Suelo - cemento (10:1) -agua	70 % suelo + 7 % cemento + 23% agua
4	Fosfoyeso - suelo (1:10) – agua	70 % suelo + 8 fosfoyeso + 22% agua
5	Fosfoyeso – suelo (10:1) - agua	7 % fosfoyeso + 70% suelo + 23 % agua
6	Fosfoyeso - suelo – cemento (4:6:1) - agua	28% suelo + 7% cemento + 41% fosfoyeso + 24% agua
7	Fosfoyeso - suelo – cemento (5:3:1) - agua	47,2% fosfoyeso + 28,3% suelo + 9,5 % cemento + 15% agua
8	Fosfoyeso - suelo – cemento (10:2:1) - agua	13% suelo + 64% fosfoyeso + 7% cemento + 17% agua
9	Suelo - cemento (10:2) - agua	65% suelo + 20 % cemento + 15 % agua
10	Fosfoyeso – cemento (8:1) - agua	74 % fosfoyeso + 9% cemento + 17% agua

Para el diseño de las composiciones se tomó como base el fosfoyeso solo con agua al igual que la muestra de suelo (muestras N° 1 y 2), esto para verificar la contribución o no de los otros aditivos, así mismos se incluyeron mezclas sin uno de los componentes, que corresponden a suelo y cemento sin fosfoyeso (mezclas N° 3 y 9), fosfoyeso y suelo sin cemento (mezclas N° 4 y 5), y por último, fosfoyeso y cemento sin suelo (mezcla N° 10). También se formularon tres mezclas (N° 6, 7 y 8) con proporciones parecidas a las referidas por Vásquez (1994), en la cual utilizaron entre 40 a 60 % fosfoyeso, 2 a 8 % de cemento, y 2 a 6 % de agua para la elaboración de bloques.

Con cada mezcla se prepararon tres briquetas cubicas de cinco cm de lado, a las cuales se les determinó la resistencia a la compresión siguiendo la norma venezolana COVENIN 42-82 para bloques huecos de concreto. Se reportó el promedio y la desviación estándar.

- **Determinación de la resistencia a la compresión**

Se realizó según norma venezolana COVENIN 42-82 en el Laboratorio de Suelos del IUTAG.

Equipo. Se utilizó una máquina de ensayo (ilustrada en la figura 3.10a) con suficiente capacidad para producir la rotura de las briquetas, prevista de dos platos de carga, uno de los cuales se encuentra montado sobre una rotula esférica.

Procedimiento. Se hizo coincidir el centro de la superficie esférica con el centro del plato de carga y a su vez se colocó en contacto con la briqueta de ensayo. Se aplicó la carga gradualmente y a una velocidad constante en un periodo no mayor a dos minutos (ver fihura 3.10b).

Expresión de los resultados. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima soportada en kilogramos por la superficie bruta del bloque expresada en centímetros cuadrados. La superficie bruta es el área completa de una sección del bloque perpendicular a la dirección de la carga.

Figura 3.10. Determinación de resistencia a la compresión. a) Equipo. b) Prueba

Etapa 2. Mezclado

Manteniendo la composición de las muestras que presentaron mayor resistencia a la compresión, se prepararon mezclas utilizando un mezclador y variando la velocidad de mezclado (ver figura 3.11). Se utilizó una mezcladora de tres velocidades: baja (140 ± 5 r/min), media (285 ± 10 r/min) y alta (580 ± 25 r/min).

Figura 3.11. Mezclado. a) manual. b) Mecánico

Etapa 3. Fabricación de briquetas

En este paso se prepararon las briquetas sustituyendo el método de moldeado por compactación. Para este caso, se mantuvo la relación de proporciones de la mezcla para lo cual se obtuvieron los mejores resultados de la prueba de compresión, a excepción del agua, la cual se adicionó hasta obtener una mezcla que pudiese ser compactada con la mano (figura 3.12). Se prepararon igualmente tres briquetas prensadas, las cuales se sometieron a ensayo de compresión según norma venezolana COVENIN 42-82.

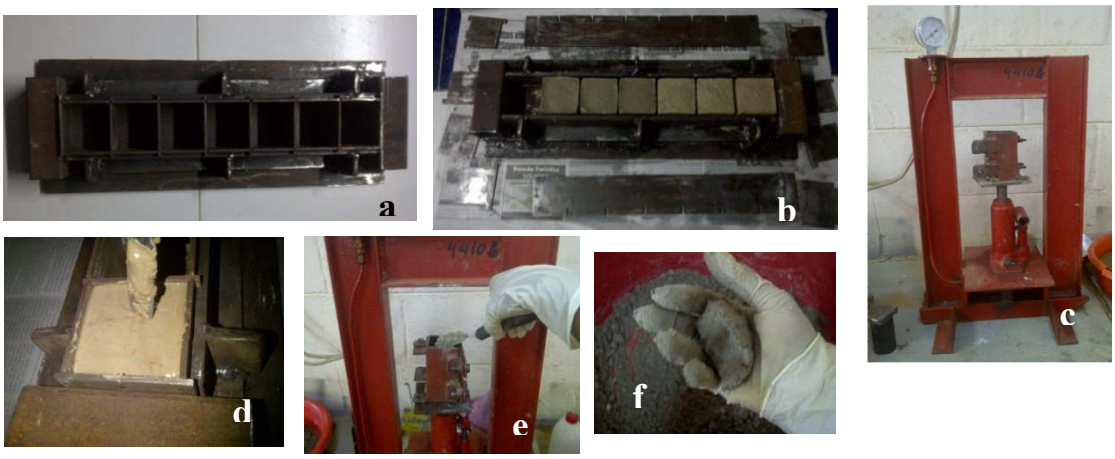


Figura 3.12. Fabricación de briquetas. a) Molde. b) Desmolde de briquetas. c) Equipo para elaboración de briquetas prensadas. d) Elaboración de briquetas moldeadas. e) Elaboración de briquetas prensadas. f) Consistencia óptima de mezcla.

También se determinó el pH de la mezcla final. Para ello se pesaron cinco (5) g de la mezcla y se procedió el ensayo mediante el método estandarizado en el Laboratorio de Análisis Químico del Complejo Docente Los Perozo de la UNEFM, ya anteriormente descrito.

Etapa 4. Fraguado

Se varió en esta etapa el tiempo de secado, el cual se realizó por medio de una estufa a 103 °C (ver figura 3.13a), hasta fraguar las briquetas. Para certificar el fraguado, se utilizó la aguja de vicat (ver figura 3.13b). Se prepararon igualmente tres briquetas, las cuales se sometieron a ensayo de compresión según norma venezolana COVENIN 42-82, para determinar la variación o no de la resistencia a la compresión.

Figura 3.13. Fraguado de briquetas. a) Estufa utilizada para secado. b) Verificación de fraguado de briquetas mediante equipo de vicat

3.2.3. Fase III. Diseño de proceso a escala piloto para el acondicionamiento de fosfoyeso y estimación de costos del mismo

Para el diseño de procesos se consideró la formulación de la mezcla, los procedimientos, técnicas y condiciones operacionales determinadas en la fase de acondicionamiento del fosfoyeso para la obtención de bloques.

Comparando los requisitos establecidos en la Norma COVENIN 42-82, con los resultados obtenidos en las briquetas de prueba, se seleccionaron las dimensiones del producto a obtener.

Se realizaron los respectivos balances de masa en una hoja de cálculo de Excel. Para dicho balance, previamente fue necesario determinar los siguientes datos a nivel experimental:

- Pérdidas de masa aproximadas en cada una de las etapas del proceso. Para ello se elaboraron tres briquetas de prueba, tomando el peso de cada una de las materias primas (suelo, cemento y fosfoyeso) y después de pasadas cada una por un tamiz número 4,75 mm. Se pesó la mezcla antes y después de trasegarla a la prensa. También se tomó peso de la briqueta húmeda y peso de residuo de prensado.

- Determinación de cantidad de agua evaporada en briquetas. Para ello, se pesaron tres briquetas húmedas, luego se secaron a condiciones ambientales por 14 días para ser pesadas nuevamente. Se calcularon las pérdidas considerándolos como la cantidad de agua perdida.

- Determinación del porcentaje de humedad en el suelo y en briquetas ya secadas siguiente el método de Determinación de Sólidos Totales A.O.A.C (1990) descrito en la fase I.

- Cantidad de suelo y de fosfoyeso pasantes en tamiz numero 4,75 mm, para ello se pesaron 1449,5 de suelo y 100 g de fosfoyeso, cada uno se hizo pasar por el tamiz 4,75 mm, se pesó la cantidad pasante.

- Determinación de densidad real del suelo, del cemento y de la mezcla. Se realizó en el Laboratorio de Materiales del IUTAG, siguiendo el procedimiento de la norma COVENIN 492:1994 como ya descrito en la fase I.

- Determinación de la densidad aparente del fosfoyeso, suelo, cemento y mezcla final seleccionada para elaboración de briquetas de prueba. Para ello se colocó un cilindro graduado sobre una balanza, se vertió la muestra hasta llenar 250 mL de volumen y se tomó el peso de la muestra. Se dividió el peso de la muestra entre el volumen ocupado en el cilindro y se expresó como densidad aparente.

Todos los ensayos descritos anteriormente se realizaron por triplicado. Se reportó el promedio y la desviación estándar.

Selección y dimensionamiento de equipos

Se seleccionaron los equipos de acuerdo a los requerimientos de cada fase del proceso, realizando análisis comparativo entre los principales usos de los equipos, los requisitos del proceso y las características del material a utilizar. Los cálculos se realizaron en Excel.

Así, para la selección del equipo de alimentación de materias primas se consideraron los parámetros establecidos en la norma PDVSA MDP-11-MT-01 (1997), descritos en la sección de manejo de solidos (tabla 2.5). Para el dimensionamiento de elementos principales de la cinta transportadora del equipo se utilizaron las normas PDVSA MDP-11-MT-02 y MDP-11-MT-01 y catálogo del fabricante Good Year, determinando: capacidad de la cinta, potencia de la cinta, selección de rodillo tensor y correa. Para el dimensionamiento de la tolva de alimentación se consideraron los parámetros descritos en la norma PDVSA MDP-11-MS-01, los cálculos se presentan en el apéndice D-1.

Para la selección de la tubería de alimentación y accesorios de la misma, se consideró la norma Norma PDVSA H-221 de acuerdo al servicio.

Para el mezclado se consideró el tipo de mezclador y agitador más comúnmente utilizados para el tipo de mezcla a obtener. El mismo se dimensionó a partir del tiempo de operación, velocidad de rotación y densidad de la mezcla obtenidos en la fase de condicionamiento del fosfoyeso y siguiendo modelos matemáticos establecidos por Quiroga, y col. (2010), y Perry (2001) determinando: volumen necesario del recipiente, volumen de carga, diámetro de eje, longitud del tanque, capacidad equivalente del equipo, potencia del mezclador, dimensiones de las paletas del agitador (ver cálculos en apéndice D-2).

Para la selección del equipo para transporte de la mezcla desde el mezclador hasta el equipo de prensado, se consideraron los parámetros establecidos en Industrias (2014). El mismo se dimensionó utilizando modelos matemáticos descritos en la norma PDVSA MDP-11-MT-03 (1997) y recomendaciones de CICSA (2014). De esta manera se determinó la capacidad del elevador, tamaño del cangilón, tensión del elevador y potencia requerida, los cálculos se presentan en el apéndice D-3.

Para la selección del tipo de prensa, se consideraron los parámetros establecidos por Reyes, (2010), descritos en la sección de manejo de sólidos. Seguido, se seleccionaron y dimensionaron las partes de la prensa como se presenta a continuación:

- Se dimensionó primero el molde para la producción de bloques, considerando las medidas de los bloques.

- Al igual que para la tolva de alimentación, para el dimensionamiento de la tolva de la prensa, se consideraron los parámetros descritos en la norma PDVSA MDP-11-MS-01, y las medidas del molde a la cual se descargará la mezcla.

- Se dimensionó un cilindro de compactación, calculando la fuerza de roce y fuerza de desplazamiento utilizando modelos matemáticos según Mataix (1999), fuerza y área de cilindro según Perry (2001). Con los resultados obtenidos se seleccionó un cilindro de compactación comercial, utilizando el catalago de fabricante SMC (2014), con el cual se definió el área nominal del cilindro, área efectiva de salida, área efectiva de entrada, fuerza hidráulica nominal. Seguido, se determinó la longitud de compactación, velocidad de la carrera y máximo caudal para cada carrera del vástago.

- Se dimensionó un cilindro de desplazamiento de molde, de manera similar que para el cilindro de compactación.

- Se seleccionó un fluido hidráulico utilizando criterios ambientales.

- Para el dimensionamiento de las tuberías, se utilizaron modelos matemáticos según Mataix (1999) con la cual se calculó el volumen de desplazamiento volumétrico para empuje del molde y desplazamiento volumétrico para compactación, flujo volumétrico y longitud de cada tubería, luego utilizando un nomograma de capacidad presentado por PARKER (2007), se determinaron los diámetros de las tuberías. Utilizando el modelo matemático según Perry (2001) se estimaron las velocidades de flujo y el número de Reynold con el cual se verificó la vialidad del diámetro de tubería seleccionado.

- Se seleccionó el tipo de bomba hidráulica a utilizar comparando las necesidades de uso con respecto a las características de los tipos de bomba existentes. Utilizando modelos matemáticos propuestos por Mataix (1999), se hicieron los cálculos hidráulicos respectivos como: coeficiente de rozamientos succión y el de descarga, pérdidas en presión, presión de servicio y potencia requerida.

- Se dimensionó el tanque de almacenamiento del fluido hidráulico, considerando el volumen necesario para los desplazamientos hidráulicas ya estimados y considerando un factor de seguridad.

- Para seguridad del proceso, se seleccionaron equipos menores como manómetro, filtro para fluido hidráulico, válvula de seguridad y alivio de presión, válvula anti retorno y válvula direccional.

Diagramas de proceso

Se elaboró el diagrama de bloques describiendo las operaciones seleccionadas en la fase de acondicionamiento del fosfoyeso para obtención de bloques. Seguido se elaboró el diagrama de flujo de procesos, diagramas de tubería e instrumentación y el diagrama de simbología, en Autocad, de considerando los parámetros de las normas PDVSA L-TP1.1, L-TP1.2 y L-TP1.3 y norma Pequiven C-PY-AY-TI-CD-I-001.

También se realizó la descripción del proceso especificando las materias primas, etapas del proceso, descripción de equipos, y producto a obtener.

Estimación de costos

Los cálculos se realizaron en Excel, se estimaron los costos en tres etapas: ingeniería de detalle, procura de equipos y materiales y por último la fase de instalación.

Para la estimación de costos por ingeniería se listaron los documentos y planos a realizar por cada disciplina. De acuerdo a la complejidad de cada producto de ingeniería, se asignó una cierta cantidad de horas y a cierto nivel de profesional utilizando el tabulador de experiencia profesional del Colegio de Ingenieros (CIV-2014). Seguido se sumó el total de horas por cada nivel profesional y se estimaron los costos de acuerdo al tabulador de sueldos y salarios del CIV-2014. El monto total de costos por ingeniería se estimó sumando el total de costos por cada disciplina.

Para la estimación de costos por procura, se realizó una lista de equipos, las estructuras necesarias para cada equipo, tuberías y accesorios seleccionados y dimensionados en la fase de diseño de proceso a escala piloto. Se solicitaron precios de los mismos a distintos proveedores tanto en el mercado nacional como internacional. Al costo total se le sumó un 20% del mismo considerado como gastos administrativos.

Los costos de instalación de las estructuras metálicas, equipos, tuberías y accesorios se estimaron con un 25% del total de costo de procura de cada uno.

3.2.4. Fase IV. Propuesta de recomendaciones ambientales

Se analizó la propuesta de diseño de procesos a escala piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso, para determinar posibles fuentes de contaminación generados en el mismo.

En dicha evaluación se utilizó el Decreto venezolano Nº 883, de fecha 11 de octubre de 1995, Normas Para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, también se examinó con respecto al anexo C del decreto 2635 de la Normas Para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos de la República Bolivariana de Venezuela (Gaceta Oficial Extraordinaria No 5245 del 3 de agosto de 1998), además de la norma US EPA de los Estados Unidos para la distribución y uso del fosfoyeso y de materiales para la construcción en general.

3.3. Población y muestra

Para esta investigación, el universo o población está representada por una pila de fosfoyeso acumulada de 2.553.048,00 m^3, aproximadamente, ubicada al suroeste del CPM. Debido a que dicha pila ha sido formada durante aproximadamente nueve (9) años de producción, pudiera existir variabilidad en las características del fosfoyeso en diversas zonas de la misma, tanto relacionadas a la posición como al tiempo, por lo tanto se procedió a colectar cuatro incrementos de cinco kg cada uno, los cuales constituyeron la muestra primaria. En la figura 3.14, se presenta un flujograma genérico del proceso de muestreo según Magalhanes (2007).

A la muestra primaria se le aplicaron las técnicas de homogeneización y cuarteamiento obteniéndose así la muestra final. Para la homogeneización se colocó el material sobre un mesón en forma de pila, luego utilizando dos espátulas triangulares se tomó la base de la pila en los lados opuesto y se revolvió para el centro, luego de repetidas pasadas, la pila se consideró homogénea.

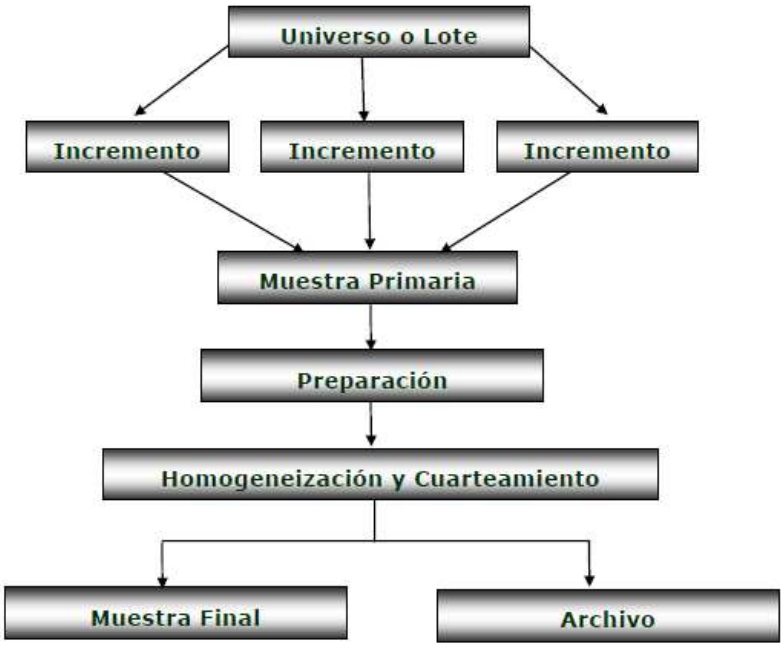


Figura 3.14. Flujograma genérico de proceso de muestreo tomado de Magalhanes, M. 2007, P. 9

Para el cuarteamiento, a la pila cónica se le acható el vértice (ver figura 3.15) y se dividió en cuatro porciones, según dos planos verticales que cruzan en el eje geométrico del cono, luego las dos fracciones en diagonal fueron reunidas y las otras dos rechazadas. A partir de esta muestra final, para cada análisis, se repitió el proceso de cuarteamiento para obtener la muestra del tamaño requerido.

Figura 3.15. Homogeneización y cuarteamiento de la muestra. a) Fila cónica achatada en el vértice. b) Primer corte de pila cónica. Proceso de cuarteamiento. c) Segundo corte de pila cónica.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo, se describen los resultados obtenidos luego del desarrollo de cada una de las fases estipuladas en el proyecto.

4.1. Diagnóstico de las características fisicoquímicas del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico del CPM

En la tabla 4.1 se presentan los resultados obtenidos del diagnóstico de las características fisicoquímica del fosfoyeso producido y almacenado en el CPM.

Tabla 4.1. Características fisicoquímicas determinadas en el fosfoyeso del CPM

Propiedad	Valor ± Error
Densidad real (g/mL)	2,11 ± 0,03
Tiempo de fraguado inicial y final	89,90 ± 1,15 min y 3 ± 0,03 h
Absorción de agua (%)	25,99 ± 3,44
Humedad (%)	18,39 ± 0,67
Flúor (%)	<0,1
Materia Orgánica (%)	<0,05
pH	4,34 ± 0,01
P_2O_5 (% P/P)	2,762 ± 0,40

De acuerdo a ensayos realizados en el fosfoyeso de Pequiven en otros proyectos de investigación, se encontraron otras propiedades, las cuales se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Características fisicoquímicas del fosfoyeso del CPM, determinadas por varios autores

Parámetro	Valor	Según
Aluminios (ácidos y sólidos) (%)	0,13	Rojas, M. (2012)
Calcio en sólidos (%)	15,56	
Carbonatos (CO_3)(%)	16,65	
Fósforo soluble en agua (%)	0,402	
Magnesio en sólidos (ppm)	81,94	
pH	4,18	
Sulfatos en fertilizantes (%p/p)	26,57	
Fósforo total (%)	1,32	
Cloruro (%)	0,19	
Aluminio (ppm)	2000	Silva, A. (2011)
Calcio (% CaO)	15	
Carbonatos (%)	35	
Magnesio (ppm)	40	
Sulfatos (%)	30	
Cloro (mg/L)	500	
% P_2O_5 soluble en agua	0,85	
% Humedad	11,69	
Índice de radioactividad	<11 pci /m^2-s	Rojas, O. (1993)
P_2O_5 (% P/P)	0,7-0,9	
Flúor (% p/p)	<0,2	
Sílice inerte (% p/p)	8	
Ca (%)	19	Espinosa, A. (1999)
S (%)	15	
Humedad (%)	17,5	
Flúor (g/kg)	1	Vázquez, O. (1994)

La densidad obtenida para el fosfoyeso (2,11 ± 0,03 g/mL), es inferior en comparación con la del cemento portland (2,8 ± 0,12 g/mL, obtenida mediante la aplicación del método de la norma COVENIN 492:1994).

Por otra parte, se obtuvo un tiempo de fraguado inicial de 89,90 ± 1,15 min y final de 3±0,03 horas, comparando estos valores con los requisitos físicos del cemento portland (no menos de ¾ horas y no más de 10 horas) establecidos en la norma "COVENIN 935-76 Cemento. Especificaciones para cemento. Portland – escoria", se puede observar que el tiempo de fraguado tanto inicial como final del fosfoyeso, se encuentran dentro de los requisitos. Ambas características del fosfoyeso (densidad y tiempo de fraguado), podrían ser aprovechadas utilizándolo como agregado en fabricación de concretos livianos.

En cuanto a la granulometría de fosfoyeso, se observó en una muestra de fosfoyeso que la misma pasa por el tamiz COVENIN 4,76 mm (N° 4) y queda parte retenida en el cedazo COVENIN 75 μm (N° 200), por lo tanto se puede clasificar como agregado fino de acuerdo a la norma "COVENIN 273:1998. Concreto, mortero y componentes. Terminología. 1^{era} revisión". De acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO, es similar a una arena fina ya que posee partículas que pasan el tamiz n° 4 y son retenidas en el tamiz n° 200. Seguidamente se determinó la finura, encontrándose que el 86,25 ± 1,71 % pasa por el tamiz n° 200 (75 micras) y el 84,12 ± 1,98 % pasa por el tamiz N° 325 (45 micras).

El contenido de flúor del fosfoyeso es <0,1 %, por lo que se encuentra en el rango recomendado para construcción, de acuerdo Vásquez (1994).

Por otra parte, el índice de radioactividad (11 Pci/m^2-s) reportado por Rojas (1993), es inferior al máximo permitido (20 Pci/m^2-s) para uso en la construcción según Vásquez (1999), por lo tanto, el fosfoyeso del CPM, no presenta peligro por parte de este componente.

El porcentaje de pentoxido de fósforo (P_2O_5) determinado en el fosfoyeso (2,762 ± 0,40 %), es superior al recomendado por Vasquez (1999), el cual no debe exceder 0,5 por ciento. Este alto contenido de P_2O_5 pudiera afectar negativamente en el tiempo de

fraguado y el desarrollo de la resistencia del cemento, por lo cual es un parámetro que debe ser evaluado en caso del uso del fosfoyeso para construcción.

También se determinó el pH en solución al 5% p/p siendo este 4,34 ± 0,01. Dicho valor es cercano a 4,18, reportado por Rojas (2012), e indica que la mezcla es ácida. La acidez afecta la fertilidad de la plantas, por ello es recomendable un medio neutro o básico para uso en la agricultura, por lo tanto, es necesario considerar la neutralización o evaluación de la influencia de este parámetro para uso del fosfoyeso en agricultura.

En cuanto al contenido de materia orgánica, se detectó que es inferior a 0,05 %, es decir, prácticamente nula. Esto es una ventaja del fosfoyeso en comparación con suelos y materiales con importante contenido de materia orgánica, en cuanto al uso en carreteras y en la construcción en general, ya que esta afecta la resistencia. Según Del Castillo y Rico (2005), "La reacción suelo-cemento se ve muy impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de la partículas laminares en las arcillas".

El contenido de humedad determinado (18,38 ± 0,67 %, ver calculo en apéndice B), es cercano al a 17,5% reportado por Espinoza y Lobo (1999), a su vez se diferencia del reportado por Silva (2011), lo cual fue de a 11,69 %. La diferencia entre los resultados obtenidos puede deberse a la variaciones de la condiciones ambientales al momento de la toma de la muestra, puesto que este material se encuentra expuesto directamente a condiciones ambientales.

El fosfoyeso está compuesto químicamente por sulfato cálcico cristalizado conjuntamente con agua, en la proporción de dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato cálcico. Los valores de cada componente para el fosfoyeso del CPM son: 30 % SO_3, 15 % CaO, y 11,69 % H_2O reportados por Silva (2011),

sumándose así un total de yeso de 59,69 %. Según Parrilla, (2004) este valor es superior al indicado en la prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3), los cuales son: contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos % (SS < 0,2%) según NLT 114 para suelos seleccionados y adecuados, contenido en yeso inferior al cinco por ciento (yeso < 5%) según NLT 115 para suelos tolerables. Del mismo modo, se especifica que materiales con valores superiores a 20 % de yeso, no deben utilizarse en ninguna zona del relleno, su uso se limitará a aquellos casos en que no existan otros suelos disponibles y siempre que el mismo venga contemplado y convenientemente justificado en el proyecto. En Venezuela, hay disposición de suelos para material de carreteras, por lo tanto no se justificaría el uso de un material rico en yeso para carreteras.

El fosfoyeso del CPM contiene fósforo 1,32 % de fósforo total y 0,402 % de fósforo soluble en agua según Rojas (2012), lo cual es un mineral importante para los suelos que podría ser aprovechado.

Por otra parte, también contiene 30 % (p/p) de sulfatos (SO_2^{-4}) según Silva (2011) y 26,57 por ciento (p/p) de sulfato en fertilizantes según Rojas (2012). Este elemento es considerado como un macronutriente secundario para las plantas, es un excelente repelente de cualquier clase de insectos, además de evitar la acción dañina de los hongos, entre otras palabras es un excelente insecticida y fungicida natural, que no causa efectos nocivos en las plantas. Otra de sus funciones es ayudar a sintetizar las proteínas para lograr un correcto desarrollo de enzimas, vitaminas y otros nutrientes. Además, el azufre fortifica las raíces y aumenta la producción de semillas, haciendo que las plantas sean más fuertes y resistentes a factores climáticos tales como el frío, el calor, las tormentas entre otros.

También se observa en la tabla 4.2, la presencia de magnesio (Mg) en el fosfoyeso (81,94 ppm según Rojas (2012)), que junto al calcio, fósforo y sulfatos también presentes, pueden darle al fosfoyeso propiedades como conservador de algunos

suelos, ya que el aumento de la concentración de estos electrolitos en la superficie puede reducir la ruptura y dispersión de los agregados superficiales, retardar la formación de surcos y la erosión por surcos, aumentando la productividad de suelos susceptibles a la erosión hídrica.

Sin embargo, también presenta un alto contenido de aluminio (2000 ppm, según Silva (2011) y 0,13 % según Rojas (2012), lo que lo limita el uso del fosfoyeso para suelos ya que la toxicidad por Al^{+3}según Acuña (2011), conlleva los siguientes problemas:

- Reduce la disponibilidad de fósforo (P) en el suelo, a través de la formación de compuestos Al-P

- Reduce la disponibilidad de azufre (S) a través de la formación de compuestos Al-S

- Reduce la disponibilidad de otros nutrientes en forma catiónica debido a una interacción competitiva.

- Fisiológicamente, se cree que el Al^{+3} impacta el metabolismo fosfato /nucleótido, la formación y funcionamiento de la pared celular y los transportadores de la membrana por mencionar algunos efectos.

- El aluminio soluble en el suelo es un problema serio a pH < 5. Entre 5 y 5,5 el aluminio puede ser un problema, pero no es severo. En general Al^{+3} es un problema severo a pH bajo 5,5 en suelos con baja saturación de bases y bajo o deficiente calcio y magnesio. El pH del fosfoyeso del CPM es inferior a 5 (4,34), por lo que combinado con la alta concentración de aluminio, limitan su utilización para uso en suelos. Para ello se tendría que acondicionar el fosfoyeso reduciendo la concentración de aluminio y aumentando el pH.

4.2. Selección de la aplicación del fosfoyeso producido en la planta de ácido fosfórico, de acuerdo a sus características fisicoquímicas

4.2.1. Selección de la aplicación del fosfoyeso de acuerdo a sus características fisicoquímicas

Mediante la comparación de las características fisicoquímicas del fosfoyeso descrita en la sección anterior y la escala de valores, se aplicó la matriz de selección presentada en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Matriz de selección de usos del fosfoyeso según sus características fisicoquímicas

Alternativa	Criterio	Valor determinado en fosfoyeso	Calif.	Calif. Final (prom.)
Conservador de suelos	Presencia de electrolitos	Mg, Ca, P y SO_2^{-4}	7 1/2	**3,75**
	Ausencia de aluminio (ppm)	2000	0	
Cemento y elementos prefabricados	P_2O_5 total <0,5 %	2,76 ± 0,40	0	**5,00**
	F<0,1%	<0,1	7 1/2	
	Pci/m_2^{-s}<20	<11	7 1/2	
Elaboración de concreto	P_2O_5 total <0,5 %	2,76 ± 0,40	0	**5,00**
	F<0,1%	<0,1	7 1/2	
	Pci/m_2^{-s} <20	<11	7 1/2	
Elaboración de bloques	P_2O_5 total <0,5 %	2,76 ± 0,40	0	**5,00**
	F<0,1%	<0,1	7 1/2	
	Pci/m_2^{-s} <20	<11	7 1/2	
Aportador de macro y micronutriente para el suelo	Fósforo total (%)	1,32	5	**3,75**
	Presencia de calcio (%)	15,56	5	
	Sulfatos en fertilizantes (%p/P)	26,57	5	
	Ausencia de aluminio (ppm)	2000	0	

Tabla 4.3. Matriz de selección de usos del fosfoyeso según sus características fisicoquímicas (continuación)

Alternativa	Criterio	Valor determinado en fosfoyeso	Calif.	Calif. Final (prom.)
Construcción de carreteras	Contenido de finos (pasa tamiz 0,063) > 80 %	86	7 1/2	**3,13**
	Contenido de materia orgánica<2%	<0,05	5	
	Hinchamiento < 5 %	25,99 ± 3,44	0	
	Contenido de yeso<5 %	59,69	0	
Aliviador de toxicidad por aluminio	Aportador de Fósforo y SO_3 (%)	1,32 y 26,57	7 1/2	**2,50**
	pH≥5	4,34 ± 0,01	0	
	Ausencia de aluminio (ppm)	2000	0	
Recuperador de suelos salinos, salinos-sódicos y sódicos	Presencia de Ca (% CaO)	15	7 1/2	**3,75**
	Ausencia de aluminio (ppm)	2000	0	

En la matriz de selección se obtuvo una calificación final de 5 puntos para las opciones de: cemento y elementos prefabricados, elaboración de concreto y elaboración de bloques, este puntaje es igual al promedio de la escala de ponderación (5), esto quiere decir que estas tres opciones podrían ser empleadas para el fosfoyeso.

En cuanto a las alternativas de uso para: construcción de carreteras, aportador de macro y micronutrientes para el suelo, aliviador de toxicidad por aluminio, recuperador de suelos salinos, salinos-sódicos y sódicos y de conservador de suelos, las calificaciones fueron inferiores al promedio de la escala ponderación (5≤), por lo tanto estas opciones son rechazadas.

La opción para uso en construcción de carreteras, se ve afectada por la alta concentración de yeso, este componente generalmente adsorbe humedad provocando el hinchamiento, este factor provocaría irregularidades en el terreno con el paso del

tiempo. Por su parte, las alternativas de uso como aportador de nutrientes para el suelo, aliviador de toxicidad por aluminio, recuperador de suelos salinos, salinos-sódicos y sódicos y de conservador de suelos se vieron afectadas por la presencia de alta concentración de aluminio, este elemento es considerado de carácter toxico para las plantas en concentraciones superiores a 2 o 3 ppm, por lo tanto no es aconsejable para su uso como fertilizante o agente acondicionador de suelos.

4.2.2. Selección de la aplicación del fosfoyeso de acuerdo a criterios técnicos y económicos

Mediante la aplicación de una tormenta de ideas, se acordaron los siguientes criterios: bajo costo instalación (CI), flexibilidad de operación (FO), bajo costo de operación (CO), espacio limitado (EL), bajo consumo energético (CE), baja generación desechos (GD), bajo costos de mantenimiento (CM), uso de recursos locales (RL). Se analizó cada criterio en cada alternativa. Los resultados se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Comparativa de alternativas de uso del fosfoyeso en función de criterios técnicos y económicos

Criterio	Alternativas					
	Cemento y elementos prefabricados		Elaboración de concreto		Elaboración de bloques	
	Observación	P	Observación	P	Observación	p
Bajo costo de operación (CO)	Probablemente debe ser condicionado previamente para eliminar las impurezas por la presencia de P_2O_5.	0	No requiere gran cantidad de personal para las operaciones.	1	No requiere gran cantidad de personal para las operaciones.	1

Tabla 4.4. Comparativa de alternativas de uso del fosfoyeso en función de criterios técnicos y económicos (continuación)

Criterio	Alternativas					
	Cemento y elementos prefabricados		Elaboración de concreto		Elaboración de bloques	
	Observación	P	Observación	P	Observación	p
Bajo consumo energético (CE)	La energía necesaria para producir el clinker es de unos 1.700 julios por gramo, pero a causa de las pérdidas de calor el valor es considerablemente más elevado, esto conforma una gran demanda de energía para la producción del cemento.	0	No requiere equipos con gran consumo energético.	1	El consumo energético depende de cuan manual o mecanizado sea, sin embargo, no requiere equipos con gran consumo energético.	
Baja generación desechos o pérdidas (GD)	En la preparación del cemento, se libera una de gran cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, un gas que contribuye al efecto invernadero, por ello, este proceso es considerado de alta generación de desechos.	0	En producción generalmente se obtienen altos rendimientos y menos generación de residuos. Sin embargo, existen factores externos que pueden repercutir en la entrega del producto en el lapso de tiempo adecuado, lo que se traduce en pérdidas.	0	Generalmente se obtienen altos rendimientos y menos generación de residuos.	1
Bajo costos de mantenimiento (CM)	Los costos de mantenimiento de los equipos mayores (hornos) son elevados.	0	Los costos de mantenimiento de los equipos mayores (mezclado) no son elevados.	1	Los costos de mantenimiento de los equipos mayores (mezclado y prensado) no son elevados.	1

Tabla 4.4. Comparativa de alternativas de uso del fosfoyeso en función de criterios técnicos y económicos (continuación)

Criterio	Alternativas					
	Cemento y elementos prefabricados		Elaboración de concreto		Elaboración de bloques	
	Observación	P	Observación	P	Observación	p
Espacio limitado (EL)	Requiere varias instalaciones para su operación: * Área de servicios * Área de producción * Área de almacenaje	0	No requiere de espacio para almacenamiento del producto, ya que este debe ser enviado directamente a su aplicación o cliente.	1	No requiere de gran espacio para producción. El área de almacenamiento se puede disponer en función de la capacidad de producción y despacho.	1
Bajo costo instalación (CI)	Para la fabricación de cemento generalmente se requieren tres fases: preparación de la mezcla, producción de clinker y preparación de cemento, para este proceso se requiere un horno especial capaz de elevar la temperatura a unos 1400 °C, este hace que los minerales se combinen pero sin que se fundan o vitrifiquen. Este horno, requiere de altos costos de instalación y es de baja flexibilidad de operación.	0	Probablemente debe ser acondicionado previamente para eliminar las impurezas de P_2O_5.	0	Requiere de pocos equipos y de bajo costo de instalación.	1
Flexibilidad de operación (FO)		0	Es un proceso flexible, ya que las variaciones en las condiciones de operación pueden no repercutir gravemente en la producción y/o calidad del producto, sin incurrir en costos considerables.	1	Es un proceso flexible, ya que las variaciones en las condiciones de operación pueden no repercutir en la producción y/o calidad del producto, sin incurrir en altos costos.	1

Tabla 4.4. Comparativa de alternativas de uso del fosfoyeso en función de criterios técnicos y económicos (continuación)

Criterio	Alternativas					
	Cemento y elementos prefabricados		Elaboración de concreto		Elaboración de bloques	
	Observación	P	Observación	P	Observación	p
Uso de recursos locales (RL)	Para mejorar las características del producto, al clinker se le agrega 2% de yeso. En Venezuela, existen varias fuentes de extracción de yeso, por lo que su sustitución estaría limitada a la obtención del fosfoyeso de manera más económica.	0	Para fabricación del concreto se requiere del cemento, lo cual no es un recurso local.	0	Para la fabricación se requiere de arena que puede ser local y de cemento, pero en menor proporción que el concreto.	1
Ponderación total =		**0**		**5**		**8**

P= Ponderación. 1= Favorable. 0 = Desfavorable.

En la tabla 4.4 se puede observar que la alternativa de fabricación de cemento y elementos prefabricados con una calificación final de cero, se encuentra en desventaja con respecto a las otras dos opciones. Por su parte, la opción de fabricación de bloques con calificación de ocho puntos, presenta mayores ventajas en comparación con la opción de fabricación de concreto (cinco puntos), por lo tanto, la alternativa de uso del fosfoyeso seleccionada es la fabricación de bloques.

4.3. Acondicionamiento a nivel de laboratorio del fosfoyeso de acuerdo a la aplicación seleccionada

4.3.1. Etapa 1. Formulación de la mezcla

Se prepararon briquetas de prueba con diferentes composiciones de mezcla. Para la preparación de las mismas se utilizó la técnica de moldeo que consistió en colocar la mezcla en un molde desarmable, se esperó a que fraguara y se desarmó el molde para extraer las briquetas. Se determinó la resistencia a la compresión a los 28 días a las briquetas obtenidas mediante la variación de la composición de la mezcla, según el diseño experimental presentado en la tabla 3.4. Se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados de resistencia a la compresión a briquetas elaboradas con diferentes composiciones de mezcla

N	Composición de la mezcla				Resistencia a la compresión promedio (kg/cm^2)
	% Fosfoyeso	% Suelo	% Cemento	% Agua	
1	85	0	0	15	0,42 ± 0,25
2	0	80	0	20	13,91 ± 2,20
3	0	70	7	23	3,21 ± 1,25
4	8	70	0	22	2,96 ± 0,60
5	7	70	0	23	0,79 ± 0,17
6	41	28	7	24	8,87 ± 2,42
7	47,2	28,3	9,5	15	25,16 ± 0,77
8	64	13	7	17	10,44 ± 1,68
9	0	65	20	15	20,05 ± 1,92
10	74	0	9	17	1,37 ± 0,37

En los resultados se observa que las briquetas elaboradas solo con fosfoyeso y agua presentaron una resistencia a la compresión muy baja (0,42 ± 0,25 kg/cm^2), por lo

cual este material no puede ser utilizado solo, para la elaboración de bloques. En efecto, al realizar el ensayo se observó que dichas briquetas cedieron fácilmente al ser sometidas a la compresión (ver figura 4.1), comprobando que el fosfoyeso no se adhiere fuertemente así mismo, y se requiere un agente de cohesión.

Figura 4.1. Ensayos de resistencia a la compresión. a) Briqueta de mezcla N° 1. b) Briqueta de mezcla N° 7.

También se puede observar, que para ninguno de los componentes se obtuvo un efecto en la resistencia a la compresión proporcional a la concentración, lo que es esperado, ya que para la fabricación de concretos dichos materiales deben ser dosificados en las proporciones que permitan una relación óptima en la matriz del cemento hidratado (fase sólida, red porosa y fase acuosa), por ejemplo en el caso del fosfoyeso por su contenido de finos puede ayudar a sellar poros, dando mayor estabilidad, sin embargo si se sobrepasa la dosis puede dar efecto de cuarteamiento y debilidad como en el caso de la mezclas N° 1 y 10. En el caso de la mezcla N° 9 sin fosfoyeso, aunque la cantidad de cemento es superior al resto de la mezclas, el resultado de resistencia a la compresión fue inferior al obtenido en la mezcla N° 7 que si contiene fosfoyeso, lo que evidencia que existe una contribución de este, a la consistencia del bloque, esto debido a que en las reacciones de hidratación, el yeso retarda el rápido fraguado originado por la alta reactividad de aluminato tricalcico ó felita ($3CaO.Al_2O_3$ o C_3A) hacia el agua.

Por otra parte, el mayor valor de resistencia a la compresión obtenido fue de 25,16 ± 0,77 kg/cm^2, este valor es superior al mínimo señalado por la Norma Venezolana

Covenin 42-82 para bloques huecos de concreto. Dicha norma establece que para bloques para paredes que no soportan cargas o para paredes divisorias, bloques tipo B, la resistencia mínima de un bloque debe ser igual o superior al 80 % de 25 kg/cm^2 (20 kg/cm^2), y del promedio de tres bloques debe ser igual o superior al 80 % de 30 Kg/cm^2 (24 kg/cm^2). Por lo tanto, la composición de la mezcla para el proceso de producción de los bloques será la correspondiente a la N° 7, la cual contendrá 47,2 % de fosfoyeso, 28,3 % de suelo, 9,5 % de cemento y 15% de agua, que corresponde a una proporción de 5:3:1 (fosfoyeso-suelo-cemento).

4.3.2. Etapa 2. Mezclado

Se utilizó un mezlcador con recipiente con agitador de helice. Se probaron tres velocidades de mezclado: baja (140 ± 5 r/min), media (285 ± 10 r/min) y alta (580 ± 25 r/min) por un lapso de 1, 2 y 3 minutos cada una, observándose que para esta última velocidad se formaron granos que pueden ser productos de hidratación con corteza externa formada en la superficie de los granos (granos hadley), lo que impide el total mezclado (ver figura 4.2), por lo cual esta última velocidad es descartada para la fabricación de la briquetas. Se observó que con la velocidad baja, se obtuvieron los mismos resultados que con la velocidad media, además de que para dos (2) minutos la mezcla ya se tornaba homogénea.

Figura 4.2. Mezcla elaborada a velocidad de 580 ± 25 r/min

Otra característica que pudo observarse, es que para el mezclado no fue necesario el tamizado de los componentes, obteniendose una mezcla homogénea.

4.3.3. Etapa 3. Fabricación de bloque

Para esta etapa, se varió la técnica de moldeo por prensado de las briquetas. Utilizando las proporciones de la mezcla N° 7 en cuanto a fosfoyeso-suelo-cemento (5:3:1), y añadiendo agua hasta obtener una pasta que pudiese ser moldeable con las manos, se constituyó una mezcla con la siguiente composición: 49% de fosfoyeso, 29% de suelo, 10% de cemento y 12 % de agua. Luego se procedió a realizar las briquetas por medio de una prensa, utilizando una relación de compresión de volumen de 2. Para estas briquetas se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 28,79 ± 0,45 kg/cm^2. Los resultados fueron levemente superiores a los obtenidos por medio del método de moldeo en cuanto a la resistencia a la compresión. Con el prensado, se logró utilizar menos cantidad de agua para la elaboración de las briquetas, lo que representa una ventaja en el proceso, además de las facilidades de desmolde, menor tiempo de obtención de la briqueta y menor generación de residuos en comparación con el método de moldeado (ver figura 4.3).

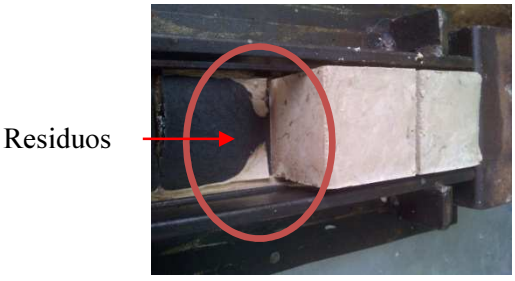


Figura 4.3. Desmolde de briquetas moldeadas

De acuerdo al valor de la resistencia promedio obtenida (28,79 ± 0,45 kg/cm^2), con esta mezcla pueden obtenerse bloques tipo B1 y B2 según la norma COVENIN 42-

82, los cuales son bloques para paredes que no soportan cargas o para paredes divisorias cuya resistencia promedio de 3 bloques debe ser de 24 kg/cm^2 y mínima de un bloque de 20 kg/cm^2. Por otra parte, considerando que el fosfoyeso constituirá el mayor porcentaje de la mezcla para el bloque (49%), y que este a su vez es un material que absorbe humedad considerable (25,99 ± 3,44 % para el fosfoyeso solo), se prefiere para este caso, el bloque clase B2, el cual es para paredes no expuestas a la humedad.

Las briquetas se pudieron elaborar con un esfuerzo (presión) en la prensa de 50 psi, un relación de compresión de 2, es decir reduciendo el volumen inicial a la mitad, y con una relación de mezcla de fosfoyeso-suelo-cemento de aproximadamente 5:3:1, los cuales constituyen datos para el diseño de proceso a escala piloto.

4.3.4. Etapa 4. Fraguado

El tiempo de fraguado de las briquetas secadas en estufa a 103 °C, se redujo a una hora, lo cual es una ventaja en comparación con las secadas a condiciones ambientales (3 a 4 horas aproximadamente), esto reduciría el tiempo de preparación de los bloques. La resistencia a la compresión promedio de estas fue de 20,84 ± 0,57kg/cm^2, lo cual es inferior a la ya obtenida en briquetas secadas a condiciones ambientales. Esto puede deberse a que con la evaporación, se pierde agua requerida para las reacciones de hidratación descrita a continuación.

Reacciones de hidratación de silicatos de calcio:

$$2(Ca_2.SiO_4) + 5H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.4H_2O + Ca(0H)_2$$

$$2(Ca_3.SiO_5) + 7H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.4H_2O + 3Ca(0H)_2$$

Reacciones de hidratación de aluminato tricalcico en presencia de yeso:

$$3CaOAl_2O_3 + 3(CaSO4.2H_2O) + 26H2O \rightarrow 3CaOAl_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$$

Por lo tanto, se considerará la opción de secado a condiciones ambientales, lo cual también disminuirá los costos de instalación y mantenimiento.

4.4. Diseño de proceso a escala piloto para el acondicionamiento de fosfoyeso

Siguiendo el método habitual de preparación de bloques y las técnicas ya seleccionadas en la fase de acondicionamiento del fosfoyeso, se diseñó el proceso para fabricación de bloques a escala piloto.

4.4.1. Balance de masa

Los cálculos de balance de masa se realizaron en una hoja de Excel (ver apéndice C).

En la pruebas realizadas para recopilación de datos base para el balance de masa (ver cálculos en apéndice B), se obtuvo una tasa de pérdida en masa durante el secado de los bloques de 13,48 ± 0,85 % (tabla B-13), lo cual se traduce en una cantidad considerable de agua evaporada. Por otra parte, se determinó el porcentaje de humedad en las briquetas ya secadas, siendo este de 11,78 ± 0,34 % (tabla B-14), densidad aparente de briqueta seca final de 1578,67 kg/m^3 y húmeda de 1824,53 kg/m^3. Estos valores fueron considerados para el cálculo del peso total requerido de la mezcla para producción de los bloques y el cálculo de peso del bloque.

De acuerdo a esta densidad (1824,53 kg/m^3), se obtendrán bloques semipesados, ya que la norma COVENIN 42-82, establece que estos son fabricados con una mezcla de agregados normales y livianos cuyo peso unitario del concreto seco está entre 1400 kg/m^3 y 2000 kg/m^3.

Con el tipo de clase de bloque (clase B2) previamente seleccionado en la etapa 1 y siguiendo las dimensiones del mismo según la norma COVENIN 42-82, se obtuvieron las características del bloque (descritas en tabla 4.6). Por otra parte, para el suelo utilizado se determinó un porcentaje de humedad de 9,29 ± 0,59 y densidad de 2300 kg/m^3 (cálculos en apéndice B). Estos valores también constituyen datos de base para el balance de masa.

Tabla 4.6. Características de los bloques

Característica	Valor
Largo del bloque (cm)	39
Altura del bloque (cm)	19
Ancho del bloque (cm)	9
Espesor de pared (cm)	1,3
Espesor de todas las paredes (cm)	5,2
Largo de todos los huecos (cm)	33,8
Largo de cada hueco (cm)	11,27
Altura de cada hueco (cm)	17,7
Ancho de cada hueco (cm)	6,4
Volumen neto del bloque (cm^3)	2840,14
Peso bloque (kg)	4,48
Densidad (kg/m^3)	1578,67

Se realizó ensayo de granulometría al suelo pasándolo por varios tamices, en la que se obtuvo que el 91,31 % pasa por el tamiz N^0 4,75 y hasta un 19,9% pasa en el tamiz N^0 500. Por otro lado, con el fosfoyeso se obtuvo que el 91,83% pasa por el tamiz N^0 4,75. Con estos datos se observar que la granulometría de ambos es pequeña, Con lo que no requiere un tamizado en el proceso.

Se seleccionó un proceso de producción por lotes, con la cual se obtendrá una unidad de bloque en cada ensayo u operación. Las condiciones de operación serán: temperatura ambiente y presión atmosférica. En la tabla 4.7 se presenta el balance de masa.

Tabla 4.7. Balance de masa de proceso a escala piloto para fabricación de bloques con fosfoyeso

N° Corriente		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Descripción		Alimentación fosfoyeso	Alimentación suelo	Alimentación Cemento	Alimentación Agua	Fosfoyeso para tanque de mezclado	Suelo para tanque de mezclado	Cemento para tanque de mezclado	Mezcla para fabricación de bloques	Mezcla alimentación a prensa	Bloque húmedo	Residuo de prensado	Pérdidas	Bloque seco	Agua evaporada
Servicio		Fosfoyeso	Suelo	Cemento	Agua	Fosfoyeso	Suelo	Cemento	Mezcla	Mezcla	Bloque húmedo	Efluentes	Pérdidas	Bloque	Agua
Masa (kg)		2,57	1,52	0,524	0,63	2,57	1,52	0,52	5,244	5,24	5,18	0,03	0,04	4,48	0,698
Volumen aparente (m3)		0,0026	0,0009	0,00048	0,0006	0,0026	0,0009	0,00048	0,0066	0,0066	0,0028			0,0028	0,0007
Temperatura (°C)		31	31	31	31	31,00	31,00	31,00	31	31,00	31		31	31	31
Presión (Atm)		1,033	1,033	1,033	1,033	1,03	1,03	1,03	1,033	1,03	1,033		1,033	1,033	1,033
Composición (p/p)	Fosfoyeso (%)	81,6	0	0	0	81,60	0,00	0,00		0					
	Fosfoyeso (kg)	2,097	0	0	0,000	2,10	0,00	0,00		0,000					
	Suelo (%)	0	90,71	0	0	0,00	90,71	0,00		0					
	Suelo (kg)	0	1,38	0	0	0,00	1,38	0,00		0					
	Cemento (%)	0	0	99,7	0	0,00	0,00	99,70		0					
	Cemento (kg)	0	0	0,52	0	0,00	0,00	0,52		0					
	Agua (%)	18,4	9,29	0,3	100	18,40	9,29	0,30	23,74	23,74	23,66		52,14	11,78	100,00
	Agua (kg)	0,473	0,141	0,0016	0,629	0,47	0,14	0,00	1,245	1,24	1,226		0,019	0,528	0,698

4.4.2. Selección de equipos

De acuerdo a las técnicas seleccionadas en la etapa de acondicionamiento del fosfoyeso, se seleccionaron los equipos por cada etapa de proceso. Todos los equipos fueron identificados con un número de TAG, de acuerdo a la norma PDVSA LTP-1.3.

Alimentación de materias primas

- **Cinta transportadora BC-01**

Considerando los parámetros de uso de los sistemas alimentadores descritos en la tabla 2.5, se seleccionó para la alimentación de las materias primas (fosfoyeso, suelo y cemento), un alimentador de correa, ya que el mismo en ventaja de otros alimentadores, tienen gran aplicabilidad en las industrias en el manejo de finos, además puede ser autolimpiante, se puede variar la velocidad de descarga, y se fabrican desde pequeños tamaños, por lo cual pueden adaptarse a una planta a escala piloto. El mismo estará conformado por una cinta transportadora corta (BC-01), un rodillo tractor ("drive pulley"), rodillo tensor ("take -up pulley"), y una caja de alimentación (BN-01).

Siguiendo la Norma PDVSA MDP-11-MT-02, se obtuvieron los siguientes resultados para el dimensionamiento de la cinta transportadora (ver tabla 4.8).

Según la norma PDVSA MDP-11-MT-02, el menor tamaño para las cintas transportadoras es de 14 in (35,56 cm), sin embargo, considerando que es planta a escala piloto para baja carga, se seleccionó un tamaño menor en base a los existentes en el mercado. En esta misma norma se estable una velocidad entre 50 a 100 pie/min para alimentadores de correa, sin embargo, de manera contradictora la norma PDVSA MDP-11-MT-01, establece que la máxima velocidad de operación de los alimentadores de banda es de 50 pie/min. En este sentido se

seleccionó una velocidad de operación inferior a este último valor y que se encuentra en el rango existente en el mercado.

Tabla 4.8. Dimensionamiento de cinta transportadora

Descripción	Valor	Unidad
Ancho de correa	7	pulgadas
Sección transversal de la carga	0,045	pie^2
Ángulo de sobrecarga	37 °	
Velocidad de la correa	12,5	pie/min
Capacidad de transporte de la correa	2,946	t/h
Distancia libre de borde	1,285	pulg
Potencia para mover el sistema transportador	0,136	Hp
Longitud de la correa	2,297	pies
Peso promedio de la correa	1,1843311	Lb/ pie de correa
Peso del material	0,00058	Lb/pie de correa
Elevación	0	pie
Potencia por tención	0,0465	Hp
Tensión efectiva de la correa	122,7	lb de tensión
Factor de fricción compuesto	0,03	
Longitud equivalente	150	pies
Factor de peso de las partes movibles de la correa	19	lb por correa
Factor de eficiencia mecánica aproximada	0,95	
Potencia requerida	0,1824	Hp
Potencia requerida considerando la eficiencia mecánica	0,1919	Hp
Potencia a instalar	0,5	Hp
Tensión del lado suelto (“Slack side tension”)	98,158	Lb de tensión
Máxima tensión de arranque	184.05	lb/pulg

El diseño seleccionado cumple con los requisitos mininos planteados para este tipo de alimentador, establecidos en la Norma PDVSA MDP-11-MT-01, ya que el tamaño máximo del material a alimentar no llega a 6 pulgadas (aprox. más de 90 % pasa por tamiz 4,75 mm), el ancho de la banda (14 pulgadas) es inferior a 72

pulgadas, la inclinación normal respecto a la horizontal es de 0º y la máxima velocidad de operación es de 50 pie/min.

Comparando las características seleccionadas, con las cintas transportadoras existentes en el mercado, se encontró disponibilidad de las mismas. En la tabla 4.9, se presenta un resumen de características de transportadores de cinta de la empresa Maskepack.

Tabla 4.9. Características de transportador de banda por proveedor Maskepack para pequeñas cargas.

Característica	**Valor**
Longitud entre centros de tambores (L)	250 a 5600mm
Ancho de banda (A)	60 a 300mm
Diámetro de tambor motriz	40mm
Diámetro de tambor tensor	25mm
Motorización	Central (en posición vertical u horizontal)
Velocidad	2,5 a 50 metros/minuto
Bastidor	Aluminio / acero inoxidable
Guías laterales	Fijas o regulables
Capacidad de carga máxima	10 kg
Pies	Regulables ±50mm

Fuente: Maskepak (2014,P.2).

Por otra parte, se seleccionó una correa convencional con material combinado de rayon-nylon, las cuales son más económicas y se pueden utilizar cuando se manejan productos a temperatura ambiente y hasta 1500 lb/pulg de tensión (en este caso la tensión máxima es de 239,42 lb/pulg).

Debido al contenido de polvo en el material a manejar, se seleccionaron rodillos tractores cubiertos, y debido a que la carga es mediana (densidad entre 131,72 a

174,55 lb/pie^3) y longitud de correa corta (2,297 pie), se puede utilizar rodillo tensor simple de tipo tornillo. El diámetro del tornillo será de 9 pulgadas cumpliendo con los estándares de la norma (2 pulgadas superiores al acho de la correa). La máxima deflexión permitida del eje será de 0,01 pulgada/pie de rodamiento.

Por ser servicio mediano, el diámetro de rodillos libre se pueden adecuar entre 4 a 6 pulgadas. Solo se instalará un rodillo libre debido a la corta longitud de la correa.

- Caja de alimentación BN-01

Según Martínez y col. (2014), para la instalación de la caja de alimentación, la carga debe colocarse centradamente sobre la banda por medio de canales guías, sin que se ocupe todo el ancho de la banda (no más del 70 %). Por otra parte, según la norma PDVSA MDP-11-MS-01, para impedir la formación de arcos en tolvas de flujo total, es suficiente que el tamaño de la boca de salida sea al menos cinco a seis veces mayor que la partícula más grande, si se usa una boca de descarga circular, o tres a cuatro veces mayor, si la salida es rectangular. Bajo estas premisas se seleccionó un diámetro de salida promedio entre el valor máximo y el valor mínimo de la boca de salida.

La capacidad de la tolva se estimó con la suma de todas las cargas (cemento, agua y suelo). Los resultados se presentan en la tabla 4.10. La geometría de la tolva será de sección rectangular en la parte superior y de pirámide truncada en la sección inferior.

Tabla 4.10. Dimensiones de tolva de alimentación

Descripción	Valor
Ancho de la boca de descarga (m)	0,1245
Máximo volumen de carga (m^3)	0,0021
Ancho sección superior (m)	0,1234
Altura sección superior (m)	0,1234
Altura sección inferior (m)	0,0741
Volumen sección inferior (m^3)	0,0009
Área boca superior (m^2)	0,0152
Área boca inferior (m^2)	0,0090
Capacidad total (m^3)	0,0028
Altura real sección inferior (m)	0,0727
Altura total de la tolva (m)	0,1961
Capacidad almacenamiento (kg)	7,7390

El material seleccionado es acero carbono ASTM A-36, por su bajo costo, plasticidad para forjar y laminar, fácil soldabilidad y maquinabilidad y se debe aplicar recubrimiento de pintura según norma PDVSA O-201.

- **Tubería**

Se estableció un diámetro de tubería de ½". Para el control de la cantidad de agua suministrada para cada lote de operación se instalará una válvula manual y un contador de volumen digital instalado en línea, con la cual se podrá tener una lectura del agua añadida y controlar manualmente la cantidad de agua.

Las especificaciones de dicha tubería se seleccionaron de acuerdo a la norma PDVSA H-221: clase HX2, clasificación 150 FF/125 FF, material de acero al carbono (galvanizado), corrosión: 0,0625", límites de presión de 10,5 kg/cm2 y temperatura: 100 °C, Sch. 80 T&C A120, sin costura, galvanizada. Accesorios: se instalará una válvula de bola de ½" de diámetro.

Para tener una mayor cobertura de riego de agua en el mezclador y ayudar a la fase de mezclado, se seleccionó un tramo de tubería perforada ubicado en la parte superior del tanque de mezclado TK-01, la misma tendrá las características presentadas en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Tubería perforada para alimentación de agua

Especificación	Valor	Unidad
Longitud de tubería perforada	0,196	m
Cantidad de orificios	10	
Distancia sin orificios en los extremos de la tubería	0,04	m
Diámetro de cada orificio	0,004	m

Mezclado

Para la etapa de mezclado se utilizará un mezclador conformado por un tanque de mezclado (MA-01) y un agitador dinámico (TK-01).

Las mezclas espesas con viscosidad alta, con poca cantidad de líquido o difíciles de fluir, no se efectúan en sistemas convencionales de mezcla con agitadores de hélice o turbina. Por ello, se seleccionó uno de los tipos de mezclador más utilizado en mezclas de concreto, morteros seco y mortero para bloques. Este tipo de mezclador es horizontal con agitador de paletas.

Los cálculos para el dimensionamiento del mezclador (apéndice D), se realizaron en base a la velocidad angular y tiempo de mezclado, ensayados a escala de laboratorio (etapa 2), para los cuales se obtuvieron los valores resumidos en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Resultados de dimensionamiento de mezclador

Parámetro	Valor S.I.	Unidad
Volumen de carga	0,0066	m^3
Volumen necesario de recipiente	0,0366	m^3
Tiempo de mezclado	2	min
Capacidad equivalente	0,02	m^3
Velocidad angular	140	rpm
Diámetro del eje	0,0508	m
Diámetro del recipiente	0,196	m
Longitud del recipiente	0,575	m
Volumen de agitador	0,0012	m^3
Volumen del recipiente	0,017	m^3
Capacidad	0,198	m^3/h
Potencia del motor a ser instalada	0,5	HP
Cantidad de paletas	4	
Ancho y largo de palas	0,143	m
Atura de las paletas	0,127	m

También se seleccionó como material de construcción, acero carbono ASTM A-36, y aplicación de recubrimiento de pintura según norma PDVSA O-201.

Transporte de la mezcla

Para el transporte de la mezcla, se seleccionó un elevador de cangilón EC-01, en base a las características documentadas en la tabla 2.6, ya que este, a diferencia del resto de transportadores, puede utilizarse con el ángulo requerido en el diseño (65°), se ha podido utilizar en materiales húmedos o mezclas de morteros.

El elevador de cangilón se dimensionó con base en la norma PDVSA MDP-11-MT-03 y el catálogo de fabricante CICSA, (2014). El resumen de resultados se muestra en la tabla 4.13 (ver cálculos en apéndice D).

Tabla 4.13. Resultados de dimensionamiento de elevador de cangilón

Parámetro	Valor S.I.	Unidad
Volumen útil del cangilón	0,0066	m^3
% Coeficiente de llenado	75,00	
Capacidad del elevador	0,02	t/h
Velocidad de ascensión	0,4	m/s
Altura de elevación	1,5	m
Distancia entre equipos (mezclador y prensa)	1,0	m
Longitud del recorrido para una carrera	1,8	m
Angulo de inclinación	65,0	
Capacidad cangilón	0,0088	m^3
Altura del cangilón	0,39	m
Ancho del cangilón	0,39	m
Lado de rectángulo de base	0,058	m
Volumen del cangilón	0,0088	m^3
Potencia a instalar	0,5	Hp

Debido a que el proceso será por lotes, el elevador solo contendrá un cangilón. Dicho cangilón poseerá una compuerta en la sección inferior para ser abierta manualmente, con la cual se descargará la mezcla.

Prensado

Considerando los datos obtenidos en la etapa de acondicionamiento (etapa 3), la prensa aplicará un esfuerzo de compresión de 50 psi, una relación de compresión de volumen de 2. Tomando en cuenta las ventajas y desventajas expuestas en la sección "Manejo de sólidos" para los tipos de prensas, se seleccionó una prensa hidráulica. El sistema de prensa hidráulica PK-01, estará integrada por una caja de alimentación, molde, cilindros hidráulicos para compactación, cilindros hidráulicos para desplazamiento de molde, bomba hidráulica, motor hidráulico, circuito de mangueras hidráulicas, fluido hidráulico, filtro de aceite, válvula reguladora de presión o alivio,

tanque contenedor de fluido hidráulico, indicador de presión (manómetro), válvula de selección direccional hidráulica y válvula reguladora de caudal.

- **Tolva de mezcla BN-02**

Los resultados del dimensionamiento se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Dimensiones de tolva de alimentación

Parámetro	Valor	Unidad
Largo de boca de descarga	27,30	cm
Ancho de boca de descarga	7,02	cm
Largo de boca superior	26	cm
Ancho boca superior	58,50	cm
Volumen de tolva	8788	cm^3
Altura de la tolva	17,56	cm
Capacidad de almacenamiento	10,49	kg

Considerando las mismas premisas que para la caja de alimentación BN-01. Se estimó con una capacidad 15 por ciento superior a la capacidad del cangilón (ver cálculos en apéndice D) y ancho de 15 por ciento superior al ancho del cangilón (esto para evitar pérdidas en la descarga).

- **Molde**

Integrado por dos piezas independientes, la primera consiste en una caja sin fondo de dimensiones internas: 9 cm de ancho, 39 cm de largo y 38 cm de altura, con la que se podrá obtener un bloque de 9 x 39 x 19 cm. La segunda pieza es encargada de la formación de hoyos en los bloques, consiste de una plancha con tres dientes adheridos, cada diente tendrá una dimensión de 17,7 cm de alto, 11,27 cm de largo y 6,4 cm de ancho, y una separación entre ellos de 1,3 cm.

- **Cilindros hidráulicos**

El sistema contendrá dos cilindros hidráulicos, un cilindro de compactación y otro para desplazamiento de caja de molde, los resultados de cálculos de dimensionamiento de ambos se presentan en la tablas 4.15 y 4.16 (ver cálculos en apéndice D).

Tabla 4.15. Dimensionamiento de cilindro de compactación

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de roce	11,87	kg
Fuerza de diseño	17,11	kg
Presión de diseño	0,14	kgf/cm^2
Área del cilindro	122,44	cm^2
Diámetro del cilindro	12,49	cm
Diámetro nominal	12,50	cm
Presión nominal	3,50	MPa
Diámetro del vástago	3,398	cm
Área nominal del cilindro	122,72	cm^2
Área efectiva de salida	1,23	cm^2
Área efectiva de entrada	1,13	cm^2
Fuerza hidráulica nominal	4379,85	kgf/cm^2
Longitud de compactación	36,70	cm
Espacio mínimo libre para desmolde	38,50	cm
Longitud de carrera	82,72	cm
Longitud de carrera de amortiguación	2,00	cm
Tiempo de compresión	5,00	seg
Tiempo de retorno	5,00	seg
Velocidad de salida del vástago	16,94	cm/seg
Caudal necesario para una carrera salida	20,79	cm^3/seg
Caudal necesario para una carrera entrada	19,12	cm^3/seg
Máximo caudal real para una carrera	1,31	LPM

Tabla 4.16. Dimensionamiento de cilindro de desplazamiento de molde

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de roce	16,18	kgf
Fuerza de diseño	36,41	kgf
Área que recibe la fuerza	385,00	cm^2
Presión de diseño	0,21	psi
Área del cilindro	175,00	cm^2
Diámetro del cilindro	14,93	cm
Diámetro nominal	16,00	cm
Área efectiva de salida	2,01	cm^2
Área efectiva de entrada	1,85	cm^2
Presión nominal	3,50	MPa
Diámetro del vástago	4,30	cm
Área del embolo	201,06	cm^2
Fuerza de extensión	37,65	kgf
Fuerza de retracción	34,94	kgf
Rendimiento de cilindros hidráulicos	0,90	
Fuerza de compresión real	41,84	kgf
Fuerza de tracción o empuje real	39,00	kgf
Fuerza Hidráulica nominal	1373960,00	kgf
Longitud de carrera	40,00	cm
Longitud de amortiguación	2,20	cm
Tiempo de carga	5,00	seg
Tiempo de desplazamiento de molde	2,00	seg
Tiempo de descarga del bloque	5,00	seg
Tiempo de retorno	2,00	seg
Velocidad de salida del vástago	20,00	cm/seg
Caudal necesario para carrera salida	40,21	cm^3/seg
Caudal necesario para carrera entrada	37,03	cm^3/seg
Máximo Caudal real para una carrera	2,54	LPM

Por la presión de diseño y el diámetro del cilindro calculado (1249 mm), se seleccionó un cilindro comercial de diámetro cercano (1250 mm). Dicho cilindro

será de doble efecto con tirantes de baja presión nominal de 3,5 MPa y tubo de acero.

Por la presión de diseño y el diámetro del cilindro calculado (1493 mm), se seleccionó un cilindro comercial de diámetro cercano (1600 mm). Dicho cilindro también será de doble efecto con tirantes de baja presión nominal de 3,5 MPa y tubo de acero.

- **Mangueras hidráulicas**

Utilizando un nomograma de capacidad de caudal (figura F-10 de apéndice F), se seleccionaron los diámetros de las tuberías flexibles, obteniéndose así 7,9 mm para la tubería de succión y 4,5 mm para las tuberías de descarga y retorno de aceite al tanque, con las cuales se preestablecen las velocidades de fluido en la tubería: 0,86 m/s y 2,66 m/s respectivamente.

- **Bomba P-01, motor PKM-01 y fluido hidráulico**

Para convertir la energía hidráulica en energía mecánica se seleccionó una bomba hidráulica.

Para la selección del tipo de bomba hidráulica se consideró que las eficiencias volumétricas son altas en bombas de engranajes en condiciones óptimas de operación, sin embargo, las aperturas entre caras de los engranajes, entre crestas de los dientes y la carcasa, entre el engranaje con los platos laterales, provocan una pérdida constante en el volumen de aceite suministrado a un valor de presión fijo, por lo tanto, la eficiencia volumétrica a bajas velocidades y bajo flujo es muy pobre y deben ser operadas cerca de su velocidad máxima de operación. En este

caso se requiere una bomba capaz de trabajar con varios caudales entre 1,31 a 2,54 LPM, por lo tanto este tipo de bomba es descartado. En las bombas de paleta se puede variar el desplazamiento volumétrico pero se deben hacer cambios mecánicos, por lo que es recomendable para caudales variables. Finalmente se seleccionó una bomba de émbolos axiales, las cuales se diseñan para desplazamiento volumétrico variable y son de gran versatilidad y eficiencia.

Como fluido hidráulico se seleccionó un aceite biodegradable, ya que estos además de ofrecer rendimiento fiable como los aceites estándar, no son tóxicos y generalmente son compatibles con la mayoría de materiales y son antidesgastantes, lo que constituye un aporte a nivel ambiental. Por el fabricante Pawer Team, este tiene una viscosidad de 183 ASUS.

Con estos datos, se estimaron los valores para el dimensionamiento de la bomba. En la 4.17 se presentan un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 4.17. Valores obtenidos para selección de bomba hidráulica

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad angular asumida	1750,00	RPM
Desplazamiento volumétrico para compactación	0,75	cm^3/rev.
Desplazamiento volumétrico para empuje de molde	1,45	cm^3/rev.
Eficiencia	85,00	
Longitud de tubería hasta cilindro de compactación	219,44	cm
Longitud de tubería hasta cilindro de desplazamiento de molde	90,00	cm
Diámetro de la tubería de succión	0,79	cm
Diámetro de la tubería de descarga y retorno	0,45	cm
Velocidad de flujo en tubería de succión	86,36	cm/s
Velocidad promedio de flujo en tubería de retorno y descarga	266,14	cm/s

Tabla 4.17. Valores obtenidos para selección de bomba hidráulica (continuación)

Parámetro	Valor	Unidad
Viscosidad de fluido para sistema hidráulico	0,35	st
Densidad de fluido para sistema hidráulico	920	kg/m^3
Numero de Reynolds succión	195,71	
Numero de Reynolds descarga y retorno	343,59	
Coeficiente de rozamientos succión	0,30657	
Coeficiente de rozamientos descarga y retorno	0,18627	
Pérdida en presión en tubos rectos para succión	0,02727	kg/cm^2
Pérdida en presión en tubos rectos para descarga y retorno	0,02093	kg/cm^2
Presión servicio	35,72	kg/cm^2
Potencia requerida para compactación	0,06	Hp
Potencia requerida para desplazamiento de molde	0,12	Hp
Potencia a instalar	0,50	Hp

En los resultados se obtuvo valores de numero de Reynolds en la succión (calculado en apéndice D), descarga y retorno inferiores a 2000, lo que supone que se tendrán flujos laminares, por lo tanto, el diámetro seleccionado de mangueras hidráulicas, es acertado.

- **Filtro**

Se seleccionó un filtro en forma de codo a instalar en la línea de retorno de aceite al tanque, para así atrapar la contaminación inmediatamente después que es generada por el sistema, además los componentes del mismo no tendrán que ser muy robustos, ya que el fluido no está sujeto a presión y la relación costo-

beneficio es más favorable que para los filtros instalados en el tanque o entre el tanque y la succión de la bomba.

- **Tanque contenedor TK-02**

Se estimó el volumen necesario para una carrera de compactación, obteniéndo 94 0,011 m^3 y 0,008 m^3 para una carrera de desplazamiento de molde. Para el cálculo de la capacidad volumétrica del tanque se consideró tres veces el volumen mayor requerido (en este caso el de compactación), obteniéndose una capacidad de 0,0315 m^3 y un porcentaje de llenado de 80 por ciento. Dimensiones: 40 cm de diámetro y 25,08 cm de altura.

- **Indicador de presión PI-01**

De acuerdo a las presiones obtenidas de diseño, se debe instalar un manómetro con rango de lectura entre 0 a 19 kgf/cm^2.

- **Válvula direccional DCV-01**

El flujo tanto para la compactación como para el desplazamiento de molde, será direccionado en dos sentidos: entrada y salida al y del cilindro. Por ello se seleccionó para cada función (compactación y desplazamiento de mole), una válvula direccional con centro cerrado, ya que este arreglo de válvula bloquea todos los pórticos no requeridos para una función y permite que el flujo sea usado en otras operaciones del circuito o dirigido a tanque a través de la válvula de alivio .

- **Válvula de seguridad y alivio de presión PSV-01**

El sistema debe poseer una válvula de seguridad de presión, calibrada para un rango de operación de 0,14 a 0,21 kgf/cm^2, y un máximo de presión de 3,5 Mpa. Al llegar a última esta presión, la válvula aliviará el sistema enviando el fluido a tanque.

En la figura 4.4, se presenta el esquema de circuito hidráulico seleccionado.

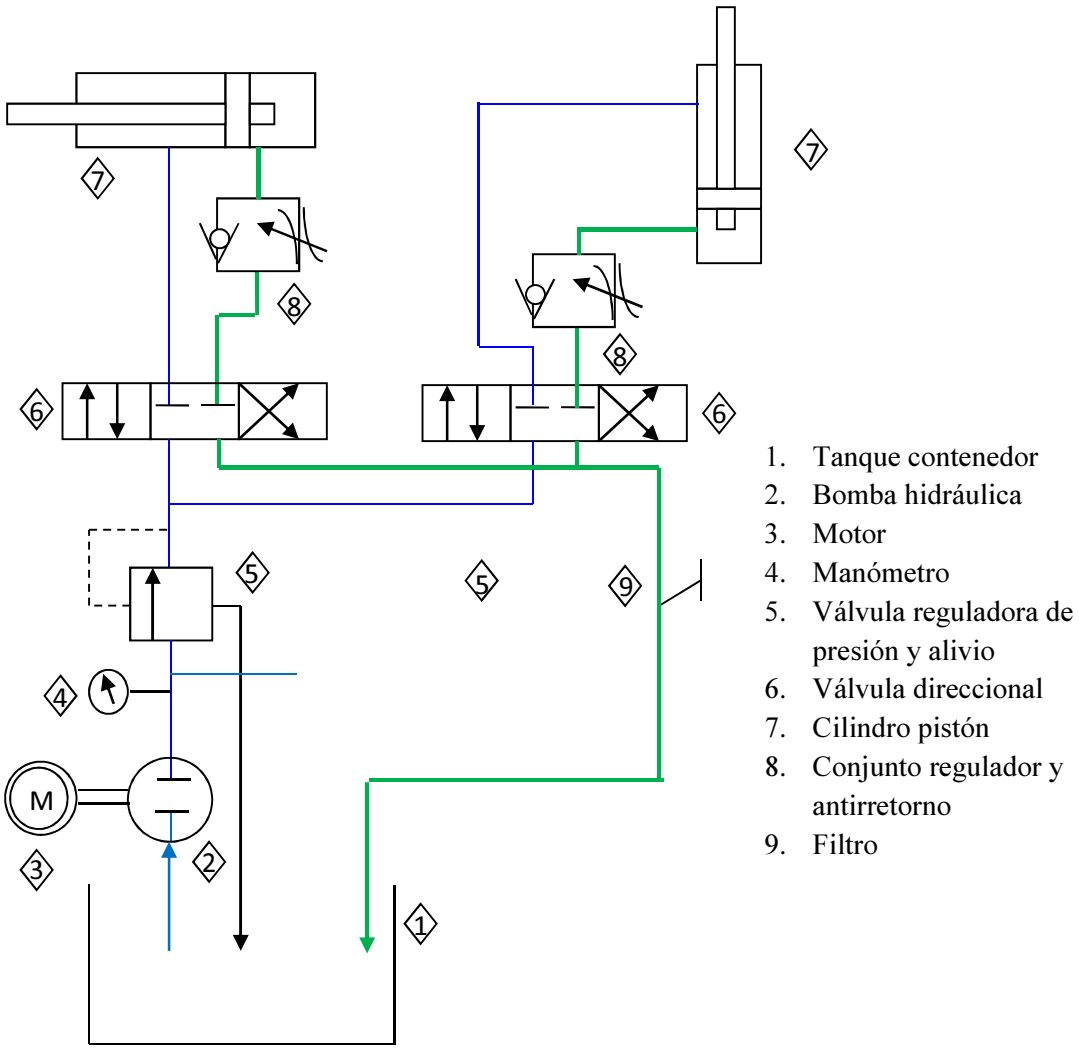


Figura 4.4. Esquema de circuito hidráulico seleccionado

- **Conjunto regulador y antirretorno FCV-01**

A la salida del fluido del cilindro pistón se instalará una válvula reguladora de caudal que impedirá que el retorno brusco del pistón, integrada de una válvula antirretorno (sheck).

4.4.3. Diagramas de proceso

En la figura 4.5. se presenta el diagrama de bloque de proceso a escala piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso.

En las figuras 4.6 y 4.7, se presentan los diagramas de flujo de proceso, en la figura 4.8 el diagrama de tubería e instrumentación y la figura 4.9 un diagrama de simbología y leyenda. Todos estos diagramas se presentan en formato A3 para una mayor visualización en el anexo A.

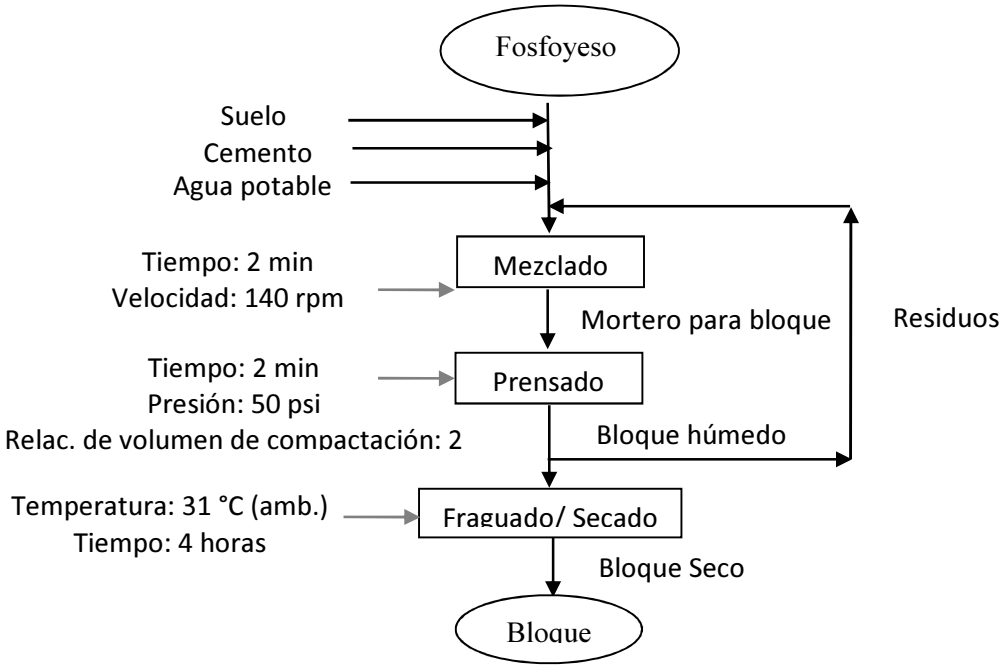


Figura 4.5. Diagrama de bloque de proceso a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso

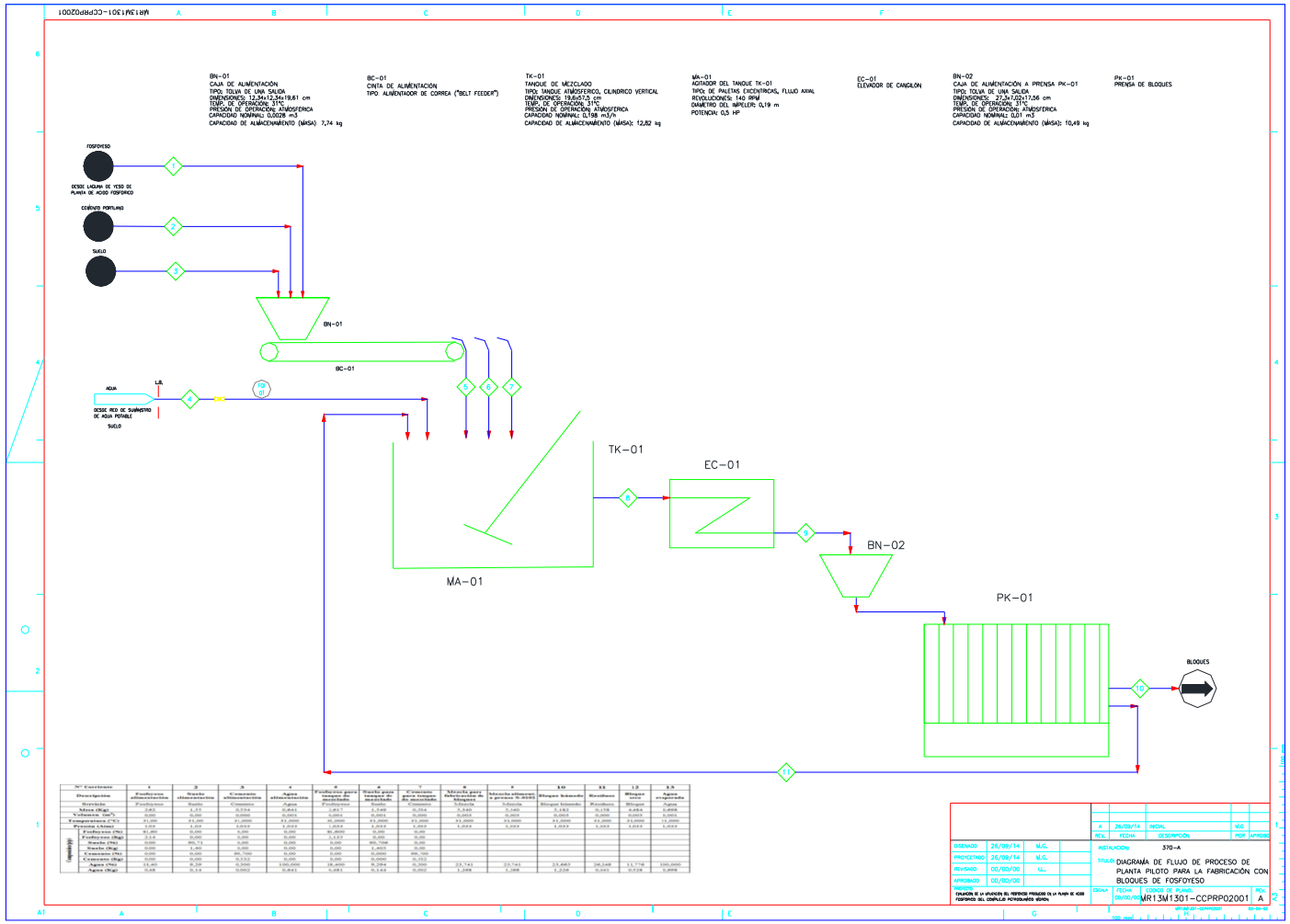


Figura 4.6. Diagrama de flujo de proceso a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso

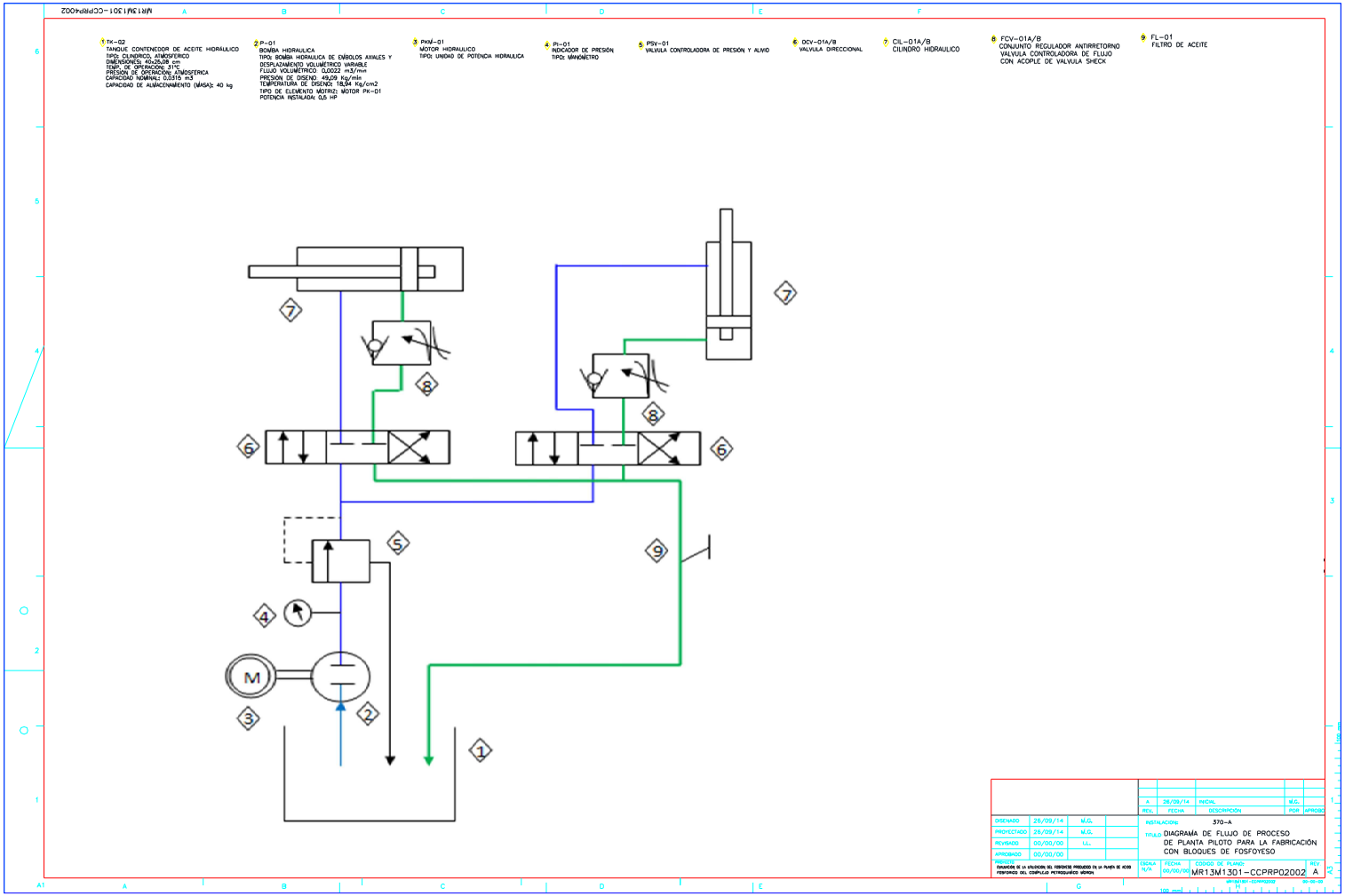


Figura 4.7. Diagrama de flujo de procesos de sistema de prensa hidraulica para producción de bloques de fosfoyeso

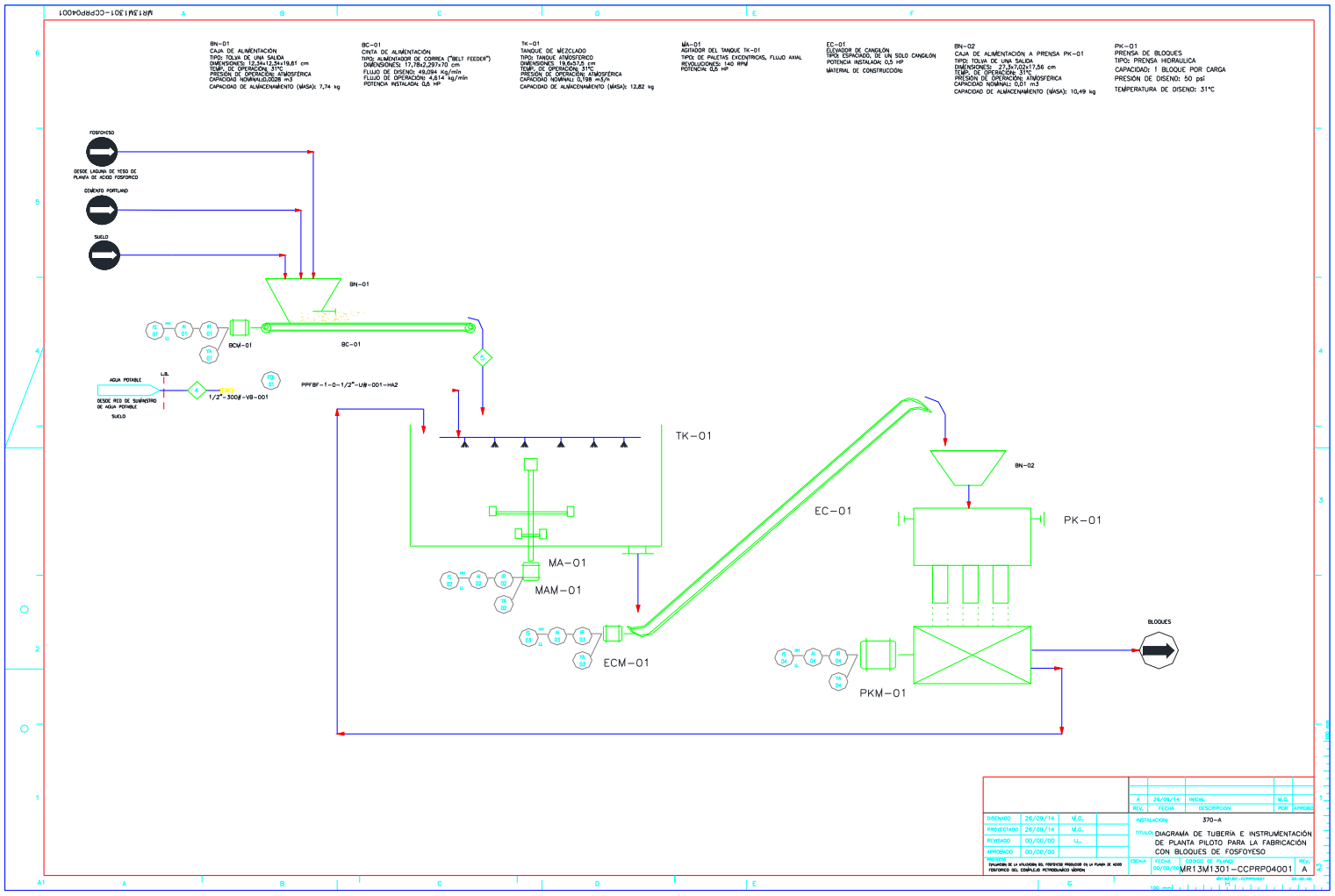


Figura 4.8. Diagrama de tubería e instrumentación a escala piloto para producción de bloques de fosfoyeso

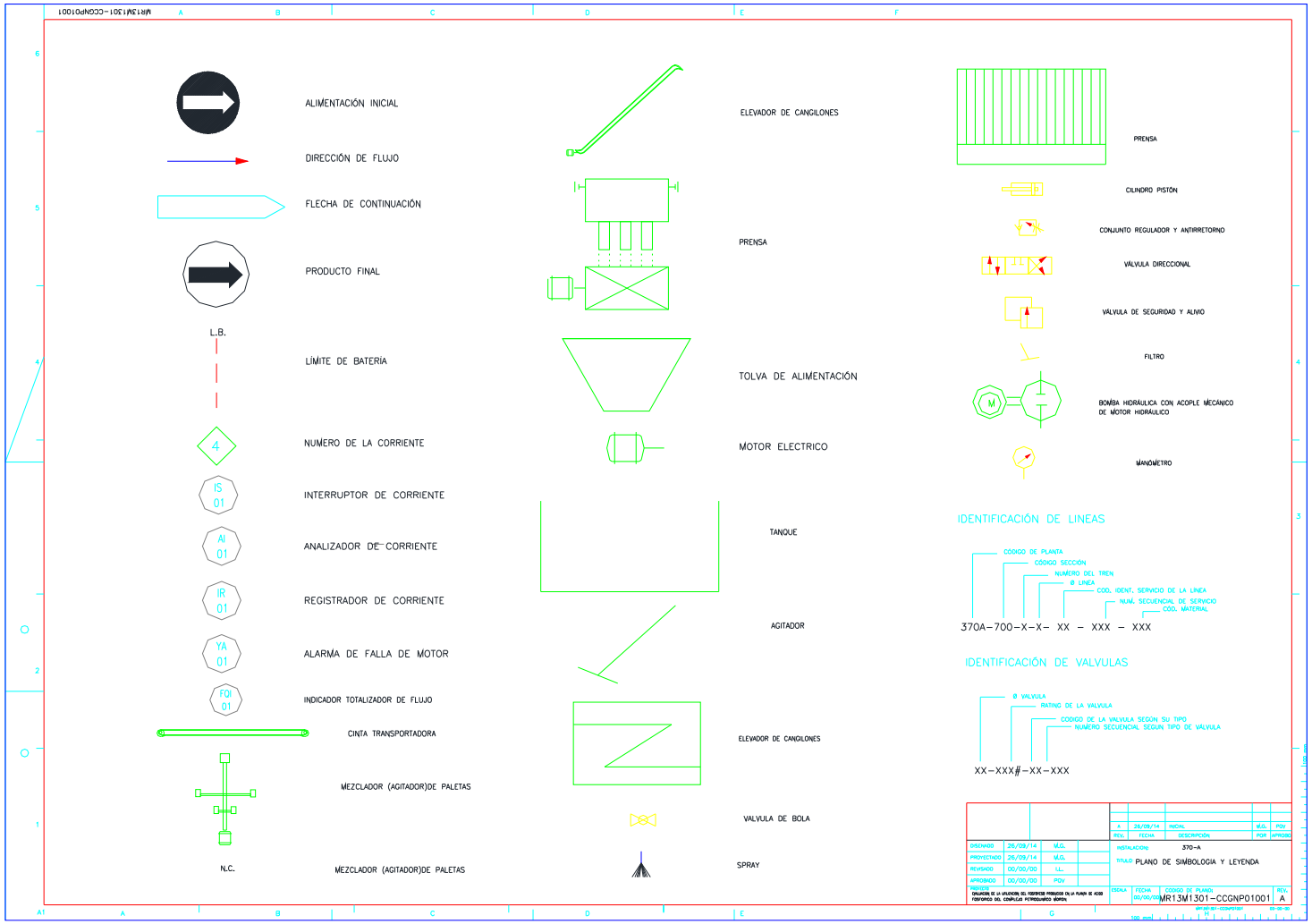


Figura 4.9. Diagrama de simbología y leyenda

4.4.4. Descripción del proceso

Siguiendo los diagramas de proceso (figuras 4.5 a 4.9), se describe el proceso a escala piloto para la producción de bloques de fosfoyeso.

Materia prima

Estará constituida por:

- Fosfoyeso extraído de la laguna de yeso, proveniente de la planta de ácido fosfórico (instalación 270-A).
- Cemento portland, que cumpla con los requisitos mínimos establecidos en la norma venezolana COVENIN 28-93 - Cemento portland, especificaciones (5ta revisión).
- Suelo.
- Agua potable.

Alimentación

El proceso de producción se realizará por lotes, de 1 bloque por cada lote, a condiciones de operación de temperatura ambiente y presión atmosférica. Los materiales constituyentes de la materia prima (fosfoyeso, suelo y cemento) se adicionaran por medio de un alimentador integrado por una tolva de alimentación BN-01, de una sola salida, con capacidad de 0,0041 m^3 y dimensiones de 12,34 x 12,34 x 19,61 cm, y una cinta transportadora BC-01, de correa, tipo "belt feeder", de dimensiones de 17,78 x 2,297 x 70 cm, y flujo de operación de operación de 4,6 kg/min. A la tolva se cargarán 2,57 kg de fosfoyeso, luego 1,52 kg de cemento y seguido de 0,524 kg de suelo. Este orden puede variar, y serán cargados una vez que el operador encienda el motor de la cinta BCM-01.

El agua potable se adicionará por medio de la línea PPFBF-1-0-1/2"-UW-001-HA2 a una velocidad máxima de 2 m/s, para ello, el operador deberá abrir manualmente la

válvula de bola de cierre rápido ½”-300#-VB-001 instalada en dicha línea, para permitir el paso del agua hasta el tanque de mezclado TK-01. En esta línea también estará instalada justo después de la válvula ½”-300#-VB-001 un totalizador de volumen FQI-01, con la cual operador deberá observar el volumen adicionado, y una vez que este alcance 0,0006 m^3, el operador deberá cerrar inmediatamente la válvula.

El agua luego de pasar por el tramo de tubería recta, pasara a un tramo de tubería perforada ubicada en la parte superior del tanque de mezclado TK-01, y se distribuirá a dicho tanque por medio de 10 hoyos equidistantes de 0,004 m de diámetro.

Mezclado

Una vez alimentado el fosfoyeso, el suelo, el cemento y por último el agua potable, en el tanque de mezclado TK-01, de 19,6 cm de diámetro y 57,5 cm de longitud, se procede el mezclado activando manualmente por medio del interruptor del motor MAM-01 al agitador dinámico MA-01. Este permanecerá operando durante aproximadamente 2 min a 140 rpm. Al culminar este tiempo, el operador apagará el motor del agitador.

La mezcla formada de 5,244 kg, es descargada por medio de una compuerta ubicada en la sección inferior del tanque de mezclado TK-01 a un cangilón. Esta compuerta será abierta manualmente por el operador una vez detenido el agitador y previo aseguramiento de que el cangilón este posicionado en la descarga del mezclador.

Arrojada la carga de la mezcla al cangilón, el operador encenderá el motor ECM-01 del elevador de cangilón EC-01. Este último subirá la carga a razón de 0,4 m/s hasta la tolva de la prensa BN-02.

Prensado

Luego del mezclado, la mezcla es vertida en la prensa hidráulica TK-01, donde se fabricará el bloque.

La mezcla es descargada desde el cangilón a la tolva de alimentación BN-02 de 27,3 x 7,02 x 17,56 cm, 0,01 m^3 de capacidad en volumen y 10,49 kg de capacidad en masa. Desde dicha tolva, la mezcla caerá a la caja de molde de bloque, con dimensiones internas de 39 x 38 x 9 cm.

Luego el operador ubicará la válvula direccional de entrada de aceite hidráulico (DCV-01A) al pistón de desplazamiento de molde (CIL-01A) en posición abierta y en posición cerrada a la válvula direccional de entrada de aceite hidráulico (válvula DCV-01B) al pistón de compactación (CIL-01B) y arrancará el motor hidráulico PKM-01. El motor hidráulico arrancará la bomba hidráulica P-01 que succionará el fluido hidráulico desde el tanque TK-02 mediante una manguera de 7,9 mm, y lo descargará a aproximadamente 1,45 cm^3/rev mediante una manguera de descarga de 4,5 mm. En esta última el fluido pasará por una válvula reguladora de presión y alivio PSV-01A donde se controlará la presión del sistema. Si la presión se encuentra por encima de 0,21 kgf/cm^2, la válvula retornará fluido al tanque para aliviar la presión, de lo contrario, el fluido se dirigirá hasta la válvula DCV-01A, pasa al pistón de desplazamiento de molde, este empujara el embolo desplazando a su vez la caja de alimentación BN-02 conteniendo la mezcla hasta el área de compactación. Al liberar la carga, el fluido sale del cilindro hidráulico CIL-01A y se dirige por una manguera de retorno de 4,5 mm, en la que se tendrá una válvula controladora de flujo (FCV-01A) integrado por una válvula sheck para evitar que el fluido se devuelva, luego será condicionado por el filtro FL-01 y retornado al tanque contenedor TK-02.

Los cilindros serán de doble efecto. El cilindro es un émbolo o pistón operando dentro de un tubo cilíndrico, se instalarán anclados a una estructura móvil y el émbolo o pistón se fijará al mecanismo que se accionará. Las partes esenciales de un cilindro tipo pistón son un barril cilíndrico o camisa, un pintón y un vástago, cabezales extremos y guarniciones convenientes para mantener el sellado. Los cabezales se fijarán en los extremos de la camisa. Estos cabezales extremos contendrán los puertos fluidos. Un cabezal extremo del vástago contendrá una perforación para que el

vástago de pistón pase a través del mismo. Entre la perforación y el vástago del pistón se encontrarán sellos para evitar que el líquido se escape hacia afuera y para evitar que la suciedad y otros contaminantes entren en la camisa. En el cabezal extremo contrario se encontrará el cabezal de anclaje que asegurará el cilindro a la estructura fija.

Las válvula distribuidora DCV-01A, es una válvula de varios orificios (vías), la cual determinará el camino que seguirá el fluido, tendrá cuatro orificios (entrada de fluido desde bomba P-01, salida de fluido hacia cilindro CIL-01A, entrada de fluido de salida de FCV-01A y salida para retorno a tanque TK-01A) y será de accionamiento manual por medio mecánico.

La válvula reguladora de flujo, controlará la velocidad de retorno de aceite hidráulico para que el embolo del filtro no retorne de manera brusca.

La bomba hidráulica P-01 se encargará de transformar la energía transmitida por el impulsor (motor PKM-01) en energía cinética del fluido. Dicha bomba será de émbolos axiales, desplazamiento volumétrico variable (entre 1,31 a 2,54 LPM). Esta bomba posee generalmente entre nueve a once émbolos que se desplazan axialmente en un cuerpo de cilindros y todo este conjunto gira impulsado por una flecha central, al número de revoluciones que le son transmitidas por el impulsor primario (en este caso 1750 rpm). Su principio de operación consiste en un plato oscilante que se inclina debido a la entrada de una película de fluido hidráulico entre las superficies, las zapatas hacen el seguimiento de este fluido, el embolo acoplado recorre 180^0 y pasa de la parte inferior a la parte superior respecto al eje de la bomba, succionando fluido durante su carrera hacia adelante por efecto jeringa. Durante el recorrido de los siguientes 180^0 para completar una revolución, el embolo expulsa el aceite en su carrera hacia atrás por el ducto de descarga.

Una vez posicionada la caja molde con la mezcla en la prensa, el operador ubicará la válvula direccional de entrada de aceite hidráulico (DCV-01A) al pistón de

desplazamiento de molde (CIL-01A) en posición cerrada y en posición abierta a la válvula direccional de entrada de aceite hidráulico (válvula DCV-01B) al pistón de compactación (CIL-01B) y arrancará el motor hidráulico PKM-01. El motor hidráulico arrancará la bomba hidráulica P-01 que succionará el fluido hidráulico desde el tanque TK-02 mediante una manguera de 7,9 mm, y lo descargará a aproximadamente 1,45 cm^3/rev mediante una manguera de descarga de 4,5 mm. En esta última el fluido pasará por una válvula reguladora de presión y alivio PSV-01A donde se controlará la presión del sistema. Si la presión se encuentra por encima de 0,14 kgf/cm^2, la válvula retornará fluido al tanque para aliviar la presión, de lo contrario, el fluido se dirigirá hasta la válvula DCV-01B, pasa al pistón de compactación que desplazará el molde de compactación, deslizando el embolo en recorrido vertical por aproximadamente 40 cm, y compactando la mezcla con forma de bloque.

El molde de compactación consistirá en una plancha con tres dientes de dimensiones 17,7 x 11,27 x 6,40 cm. La mezcla se comprimirá a la mitad del volumen aproximadamente. Una vez compactado, al igual que con el desplazamiento de molde, el fluido sale del cilindro hidráulico CIL-01B y se dirige por una manguera de retorno de 4,5 mm, en la que se tendrá una válvula controladora de flujo (FCV-01B) integrado por una válvula sheck para evitar que el fluido se devuelva, luego será condicionado por el filtro FL-01 y retornado al tanque contenedor TK-02.

Una vez devuelto el cilindro CIL-01B a su posición original, el operador puede levantar la caja molde y retirar el bloque húmedo. Este se colocará un lugar ventilado y seco durante 4 horas.

Producto

Se producirán bloques tipo B2, que no soportan cargas o para paredes divisorias, y que cumplan los requisitos de la norma Covenin 42-82, pueden presentar grietas menores en la fabricación o fragmentos producidos en el manejo, dimensión

ordinaria: 10 cm, dimensiones normales 39 x 19 x 9 cm, dimensiones modulares, 40 x 20 x 10 cm, espesor de pared y de nervio 1,3 cm, con una máxima tolerancia en cualquier dimensión de 0,3 cm. Según los agregados, este tipo de bloque se clasifica en bloques semipesado, ya que serán fabricados con una mezcla de agregados normales y livianos, con un peso unitario del concreto seco entre 1400 kg/m^3 y 2000 kg/m^3.

4.5. Estimación de costos asociados a la implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso

Para la instalación de la planta a escala piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso, será necesaria la culminación de la ingeniería de detalle por parte de un equipo multidisciplinario de ingeniería, así como la evaluación de ofertas técnicas de proveedores. En la tabla 4.18 se presenta un estimado de los productos a desarrollar y las horas hombre a invertir. Los costos de H/H se estimaron en base al tabulador de sueldos y salarios mínimos para profesionales CIV año 2014 (ver cálculos en apéndice E).

Tabla 4.18. Estimación de costos por ingeniería

Item	Actividad / Documento / Plano	Cantidad		Nivel profesional			Totales
		Plano	Doc	P7	P4	P3	H-H
P	**Disciplina procesos**						
P-1	Consideraciones de diseño de equipos		1		16		16
P-2	Descripción de procesos		1		8		8
P-3	Hoja de datos de equipos		6		16		16
P-4	Memoria de cálculos		1		24		24
P-5	Balance de masa		1		16		16
P-6	Diagrama de bloque de proceso	1			8		8
P-7	Diagrama de flujo de proceso	1			16		16

Tabla 4.18. Estimación de costos por ingeniería (continuación)

Item	Actividad / Documento / Plano	Cantidad		Nivel profesional			Totales
		Plano	Doc	P7	P4	P3	H-H
P	**Disciplina procesos**						
P-8	Diagrama de tubería e instrumentación	2			24		24
	Total procesos =	**4**	**10**		**128**		**128**
C	**Disciplina civil (estructuras metálicas)**						
C-1	Criterios de diseño		1			16	16
C-2	Memoria de cálculos		1			24	24
C-3	Especificaciones técnicas		1			8	8
C-4	Plano de planta, vista y elevaciones	1				8	8
C-5	Estándar de soportes	1				8	8
C-6	Requisición de estructuras		1			8	8
C-7	Evaluación de ofertas técnicas		1			8	8
	Total civil =	**2**	**5**			**80**	**80**
M	**Disciplina mecánica (equipos y tuberías)**						
M-1	Evaluación de ofertas técnicas		1		16		16
M-2	Especificaciones de materiales		1		8		8
M-3	Especificaciones de equipos		1		8		8
M-4	Criterios de diseño		1		8		8
M-5	Hoja de datos		6		16		16
M-6	Memoria de cálculo		1		16		16
M-7	Isométricos	2			8		8
M-8	Cómputos métricos		1		8		8
M-9	Plano de arreglo de tuberías	1			8		8
M-10	Lista de repuestos		1		8		8
M-11	Planos de equipos	6			8		8
M-12	Requisición de tuberías , accesorios de tuberías y equipos		1		8		8
	Total mecánica =	**9**	**14**		**120**		**120**
I	**Disciplina instrumentación**						
I-1	Evaluación de ofertas técnicas		1			8	8
I-2	Requisición de instrumentos		1			8	8
I-3	Hojas de datos		4			16	16
I-4	Detalles típicos	4				16	16
I-5	Requisición de instrumentos		1			8	8

Tabla 4.18. Estimación de costos por ingeniería (continuación)

Item	Actividad / Documento / Plano	Cantidad		Nivel profesional			Totales
		Plano	Doc	P7	P4	P3	H-H
I	**Disciplina instrumentación**						
Total instrumentación =		**4**	**7**			**56**	**56**
E	**Disciplina electricidad**						
E-1	Evaluación de ofertas técnicas		1			8	**8**
E-2	Sistema puesta tierra	1				16	**16**
E-3	Especificación de motores		1			8	**8**
E-4	Criterios de diseño		1			8	**8**
E-5	Hojas de datos de motores		4			16	**16**
E-6	Requisición de motores		1			8	**8**
Total electricidad=		**1**	**8**			**64**	**64**
C	**Coordinación (ingeniero de procesos)**			39,2			
Total ingeniería de detalle =		**20**	**44**	**39**	**248**	**200**	**448**
Salario mínimo de ingenieros según CIV=				30.620	23.060	20.540	
Costo H/H de ingeniería según CIV=				**766**	**577**	**514**	
Total costo H/H de ingeniería por disciplina=				**30.008**	**142.972**	**102.700**	**275.679,6**

Para la procura se enlistaron los materiales, equipo e instrumentos definidos en el proyecto y se estimaron los costos en base precios en el mercado nacional e internacional. En la tabla 4.19, se presentan dichos costos.

Los costos asociados a la instalación se estimaron en un 25 por ciento del costo de los equipos, estructuras y tuberías.

Tabla 4.19. Listado de materiales, equipos e instrumentos del proyecto y su estimación de precios

Item	Descripción	Unidad	Cant	Precio unitario ($)	Precio unitario (Bs)	Total
1.	**Equipos y motores**					
1.1	**Alimentador**					
1.1.1	Tolva BN-01 Cuerpo en acero carbono ASTM A-36, revestimiento de pintura según noma PDVSA O-201. Dimensiones: caja superior de 0,1234 x 0,1234 x 0,1234 m, sección inferior de forma pirámide truncada concéntrica con dimensiones superiores de 0,1234 x 0,1234 e inferiores de 0,0949 x 0,0949	Pza	1		8.000	8.000
1.1.2	Cinta transportadora BC-01 De 7" con estructura en acero carbono, cinta -Plylon 330 stacker	Pza	1	2.595	30.102	30.102
1.1.3	Motor de cinta transportadora BCM-01 0,5 Hp. Fase/frecuencia (Hz): 3/60, Voltaje 480 v.	Pza	1		10.000	10.000
1.2	**Mezclador**					
1.2.1	Tanque mezclador TK-01 Cilíndrico horizontal. Cuerpo en acero carbono ASTM A-36, revestimiento de pintura según noma PDVSA O-201. Dimensiones: 19,56 cm de diámetro y 57,5 cm de longitud. Con compuerta inferior de salida de material de accionamiento manual (palanca)	Pza	1	4.000	46.400	46.400
1.2.2	Agitador MA-01 De paletas, diámetro del eje: 5,08 cm. Numero de paletas: 4. Ancho y largo de paletas: 12,37 cm	Pza	1	1.076	1.2481,6	1.2481,6
1.2.3	Motor de agitador MAM-01 0,5 Hp. Fase/frecuencia (Hz): 3/60, Voltaje 480 v.		1	10.000	116.000	116.000
1.3	**Elevador de cangilón EC-01** Angulo de inclinación: 65^0. Longitud de recorrido: 1,8 m. Dimensiones del cangilón: 39 x 39 x 17,33 cm. Diámetro nominal de cadena: 36 mm	Pza	1	3.199,5	37.114,2	37.114,2

Tabla 4.19. Listado de materiales, equipos e instrumentos del proyecto y su estimación de precios (continuación)

Item	Descripción	Unidad	Cant	Precio unitario ($)	Precio unitario (Bs)	Total
1.3.1	**Motor de elevador ECM-01** 0,5 Hp. Fase/frecuencia (Hz): 3/60, Voltaje 480 v.	Pza	1	349	4.048,4	4.048,4
1.4	**Tolva de mezcla BN-02** Cuerpo en acero carbono ASTM A-36, revestimiento de pintura según noma PDVSA O-201. Forma pirámide truncada concéntrica, invertida, con dimensiones: sección inferior de 27,30 x 7,02 cm y sección superior de 58,5 x 26 cm, altura de 17,56 cm	Pza	1		8.000	8.000
1.5	**Sistema de prensa hidráulica PK-01**					
1.5.1	**Molde de bloque (Caja)** Cuerpo en acero carbono ASTM A-36, revestimiento de pintura según noma PDVSA O-201. Caja rectangular sin fondo. Dimensiones: 9 x 39 x 38 cm.	Pza	1		2.000	2.000
1.5.2	**Molde de bloque (extrusor)** Cuerpo en acero carbono ASTM A-36, revestimiento de pintura según noma PDVSA O-201. Consiste de una plancha con tres dientes adheridos. Dimensión de los dientes: 17,7 x 11,27 x 6,4 cm. Separación entre dientes: 1,3 cm.	Pza	1		1.200	1.200
1.5.3	**Cilindro de desplazamiento de molde** De doble efecto con tirantes de baja presión nominal de 3,5 Mpa y tubo de acero. Diámetro de embolo: 16 cm, diámetro de vástago: 4,30 cm	Pza	1		43.800	43.800
1.5.4	**Cilindro de compactación** De doble efecto con tirantes de baja presión nominal de 3,5 Mpa y tubo de acero. Diámetro de embolo: 12,5 cm, diámetro de vástago: 3,4 cm	Pza	1		40.000	40.000
1.5.5	**Mangueras hidráulicas** Diámetros: 7,9 mm y 4,5 mm. Material: poliuretano y elastómero sintético.	m	***		5.100	5.100

Tabla 4.19. Listado de materiales, equipos e instrumentos del proyecto y su estimación de precios (continuación)

Item	Descripción	Unidad	Cant	Precio unitario ($)	Precio unitario (Bs)	Total
1.5.6	**Bomba hidráulica P-01** Émbolos axiales. Desplazamiento volumétrico variable. Dimensiones a definir. Caudal variable 1,31 a 2,54 LPM	Pza	1		16.000	16.000
1.5.7	**Motor hidráulico PKM-01** 0,5 Hp. Fase/frecuencia (Hz): 3/60, Voltaje 480 v. 1750 RPM.	Pza	1	275	3.190	3.190
1.5.8	**Fluido hidráulico** Aceite biodegradable. Densidad aproximada de 183 ASUS	L	0,03 15		9.000	283,5
1.5.9	**Filtro hidráulico** Tipo Y. 7,9 mm de diámetro.	Pza	1		1.200	1.200
1.5.10	**Manómetro** PI-01 Rango de lectura de presión de 0 a 40 kgf/cm^2	Pza	1	415	4.814	4.814
1.5.11	**Válvula reguladora de presión y alivio PSV-01** Diámetro: 1/2". Máxima presión: 3,5 Mpa	Pza	1		6.040	6.040
1.5.12	**Válvula de posicionamiento DCV-01** Diámetro: 1/2". Centro cerrado	Pza	1		7.500	7.500
1.5.13	**Válvula reguladora de caudal acoplada a válvula sheck FCV-01** Diámetro: 1/2".	Pza	1		5.000	5.000
1.5.14	**Tanque contenedor de aceite hidráulico TK-02** Material aluminio. Capacidad 0,03 m^3. Con bafle interno.	Pza	1		2.500	2.500
2.	**Estructuras**					
2.1	Estructura para soporte de cinta transportadora	kg	***		0	7.215,3
2.2	Estructura para soporte de mezclador	kg	***		0	26.232,2
2.3	Estructura de elevador de cangilón	kg	***		0	6.174,39
2.4	Estructura de prensa hidráulica	kg	***		0	20.794,1

Tabla 4.19. Listado de materiales, equipos e instrumentos del proyecto y su estimación de precios (continuación)

Item	Descripción	Unidad	Cant	Precio unitario ($)	Precio unitario (Bs)	Total
3.	**Tuberías y accesorios**					
3.1	Tubo de 1/2", material de acero al carbono (galvanizado), clasificación 150 FF/125 FF, corrosión: 0,0625", límites de presión de 10,5 kg/cm2 y temperatura: 100 °C, Sch. 80 T&C A120, sin costura, galvanizada	m	1,5	350	4.060	6.090
3.2	Tubo de 1/2", material de acero al carbono (galvanizado), clasificación 150 FF/125 FF, corrosión: 0,0625", límites de presión de 10,5 kg/cm2 y temperatura: 100 °C, Sch. 80 T&C A120, sin costura, galvanizada. Con 10 orificios de 4 mm de diámetro, distanciados a 39 mm.	m	0,58	350	4.060	2.334,52
3.3	Válvulas de bola de½" de diámetro de cierre rápido, clase 300#, cuerpo de acero al carbono, asientos y sellos TFE, Jamesbury Clincher.	Pza	1		450	1600
3.4	Accesorios (codos, Te, empacaduras, entre otros), A197 M.I.- de reborde, galvanizada, roscado 300# (uniones con asientos de bronce).	Pza	***		1100	1100
3.5	Brida de clase 150 RF, FF, A105, roscada, galvanizada	Pza	4		3.250	13.000
3.6	Brida ciega de clase 150 RF, FF, A105, roscada, galvanizada	Pza	2		3.250	6.500
3.7	Totalizador de volumen QI-01 Conexión de rosca normal de tubo (NPT) con rango de capacidad de lectura de 0 a 0,001 m^3	Pza	1		3.500	3.500
3.8	Soportería para tubería	Pza	***			6.556,90

Nota: *** Cantidad a ser definida en ingeniería de detalle. El precio de estos items son el resultado de una ponderación.

En la tabla 4.20 se presenta un resumen de costos de ingeniería de detalle, procura e instalación de la planta piloto.

Tabla 4.20. Resumen de estimación de costos de ingeniería de detalle, procura e instalación de planta piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso

Ingeniería de detalle				
Item	**Producto/ actividad**	**CanT. H/H**	**Precio H/H**	**Total Bs**
P	Ingeniería de detalle de proceso	128	577	73.792
C	Ingeniería de detalle civil	80	514	41.080
M	Ingeniería de detalle mecánica	128	577	69.180
E	Ingeniería de detalle de electricidad	56	514	32.864
I	Ingeniería de detalles de instrumentación	64	514	28.756
CI	Coordinación de ingeniería	39	766	30.027,2
			Total gastos H/H de ingeniería=	275699,2
			Gastos administrativos (15%)=	41354,88
			Total ingeniería=	**317054,08**

Fase de procura				
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Total**
1.	**Equipos y motores**			
1.1	Alimentador	Pza	1	48102
1.2	Mezclador	Pza	1	174.881,6
1.3	Elevador de cangilón	Pza	1	41.162,6
1.4	Tolva de mezcla	Pza	1	8.000
1.5	Sistema de prensa hidráulica	Pza	1	138.627,5
			Total gastos equipos y motores =	410.773,7
2.	**Estructuras**			
2.1	Estructura para soporte de cinta transportadora	kg	***	7.215,3
2.2	Estructura para soporte de mezclador	kg	***	26.232,24
2.3	Estructura de elevador de cangilón	kg	***	6.174,39
2.4	Estructura de prensa hidráulica	kg	***	20.794,12
			Total gastos de estructuras =60.416,05	
3.	**Tubería y accesorios**			
3.1	Tubo de 1/2"	m	1,5	8.424,521
3.3	Válvulas de bola de ½”	Pza	1	1.600
3.4	Accesorios	Pza	***	1.100
3.5	Brida de clase 150 RF, FF, A105, roscada, galvanizada	Pza	4	13.000
3.6	Brida ciega de clase 150 RF, FF, A105, roscada, galvanizada	Pza	2	6.500

Tabla 4.20. Resumen de estimación de costos de ingeniería de detalle, procura e instalación de planta piloto para la fabricación de bloques de fosfoyeso (continuación)

Fase de procura				
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Total**
3.	**Tubería y accesorios**			
3.8	Soportería para tubería	Pza	***	6.556,90
			Total gastos de tuberías y accesorios=	40.681,42
			Misceláneos=	51.187,11
			Total=	563.058,29
			Gastos administrativos (20%)=	112.611,65
			Total procura =	**675.669,95**

Fase de instalación			
Estimación de costos de instalación			
Item	**Descripción**	**Unidad**	**Precio Total**
1.1	Instalación de estructuras metálicas	N/A	15.104,01
1.2	Instalación de equipos	N/A	102.693,42
1.3	Instalación de tuberías y accesorios	N/A	10.170,35
	Total=		127.967,79
	Gastos administrativos (15%)=		19.195,16
	Total gastos instalación =		**147.162,96**
	Total presupuesto (ingeniería + procura + instalación)=		**1.139.887,0**

De acuerdo a lo resultados obtenidos, actualmente, se requiere de una inversión de 317.054,08 Bs. para ingeniería, 675.669,95 Bs. para procura de equipos, materiales e instrumentos, y 147.162,96 Bs. para instalación. En total para implantación se estiman 1.139.887,0 Bs.

4.6. Propuesta de recomendaciones ambientales

Los efluentes del proceso a escala piloto para la producción de bloques de fosfoyeso se producen en el prensado, en mínimas cantidades (0,03 kg aproximadamente por cada bloque). Este residuo se presenta en estado líquido, el mismo está constituido por agua que puede contener residuos de los elementos constitutivos de la mezcla: suelo, cemento y principalmente fosfoyeso (por ser el de mayor proporción en la mezcla).

Según el Decreto venezolano Nº 883, de fecha 11 de octubre de 1995, Normas Para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, Sección II, articulo 9, los constituyentes de estos vertidos líquidos pertenecen al GRUPO II, por ser compuestos inorgánicos del fósforo, y se definen como "Sustancias o parámetros que aun cuando no se conozca de su efecto tóxico, agudo o crónico, generan condiciones en el cuerpo receptor que afectan la biota o perjudican cualquier uso potencial de sus aguas". Así mismo, en el parágrafo segundo se establece que "Los límites de descarga del segundo grupo podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuerpos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará en base a límites de cargas másicas, en kg./d o en kg. de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular)".

Para evitar la posible contaminación de la biótica o detrimento del uso potencial de aguas como mencionado en el párrafo anterior, se propone la adaptación de una bandeja en la parte inferior de la prensa, en la cual podrán recolectarse los residuos líquidos emanados de la producción del bloque. Esta bandeja será extraíble, y desde

la misma se podrán vaciar los efluentes a un instrumento de medición, posteriormente serán reutilizados siendo sustitutos en su equivalente en volumen de la cantidad de agua a ser adicionada en la producción de próximos bloques.

Así mismo, también se estimaron pérdidas de material en el resto de las operaciones (0,03 kg aproximadamente, por cada bloque), esto debido a material que puede quedar retenido en el tanque de mezclado TK-01, en el agitador MA-01 y en el cangilón EC-01. Aunque las cantidades sean pequeñas, también se propone que en las actividades de mantenimiento (lavado de los equipos mencionados), se puedan recolectar las aguas y también ser recirculadas al proceso.

Por otra parte, en el decreto 2635 de la Normas Para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos de la República Bolivariana de Venezuela (Gaceta Oficial Extraordinaria No 5245 del 3 de agosto de 1998), se consideran peligrosos, todos los materiales que contengan radionúclidos incluyendo radón, en cualquier cantidad, y son altamente tóxicos y peligrosos. En este sentido, el fosfoyeso extraído de Pequiven se considera material peligroso, ya que según Rojas (1993), posee un índice de radioactividad de 11 Pci/m^{2-s}. Sin embargo, muchos de los materiales de construcción más utilizados en arquitectura e ingeniería pueden contener elementos naturales radioactivos debido a su origen de rocas o terrenos con presencia de radionucleidos de las series de uranio y torio o del isotopo radiactivo del potasio. Ejemplo de ello, en la tabla 4.21 se presentan las concentraciones típicas y máximas de actividad en los materiales de construcción y subproductos industriales más comúnmente utilizados como materiales de construcción en la Unión Europea.

Las normas venezolanas no establecen un valor de referencia para estos materiales en el uso de la construcción. Por otra parte, en la regulación de la US EPA de los Estados Unidos para la distribución y uso del fosfoyeso y de materiales para la construcción en general, se establece un límite de radioactividad de 20 Pci/m^{2-s}.

Siguiendo este reglamento, el fosfoyeso se encuentra dentro del límite permitido de índice de radioactividad.

Tabla 4.21. Concentración típica y máxima de actividad en los materiales de construcción y subproductos industriales más comúnmente utilizados como materiales de construcción en la Unión Europea

Material	**Valores normales de concentración de actividad (Bq/kg)**			**Valores máximos de concentración de actividad (Bq/kg)****		
Materiales de construcción comunes	**^{226}Ra (Bq/kg)**	**^{232}Th (Bq/kg)**	**^{40}K (Bq/kg)**	**^{226}Ra (Bq/kg)**	**^{232}Th (Bq/kg)**	**^{40}K (Bq/kg)**
Hormigón	40	30	400	240	190	1600
Hormigón aireado ligero	60	40	430	2600	190	1600
Ladrillos de arcilla roja	50	50	670	200	200	2000
Ladrillos de limos/arenas	10	10	330	25	30	700
Piedra natural	60	60	640	500	310	4000
Yeso natural	10	10	80	70	100	200
Fosfoyesos	390	20	60	1100	160	300
Escorias de alto horno	270	70	240	2100	340	1000
Cenizas volantes procedente de la combustión del carbón	180	100	650	1110	300	1500

**Las concentraciones típicas son las medias nacionales ponderadas en la población de los diferentes estados miembros. Las concentraciones máximas son los valores máximos de referencia.
Fuente: Piedecausa (2011).

CONCLUSIONES

- El fosfoyeso generado en Pequiven, posee una densidad de 2,11 ± 0,03 g/mL, y tiempo de fraguado inicial y final de 89,90 min y 3 horas respectivamente, comparables con las especificaciones de cemento portland según la norma COVENIN 935-76.

- El fosfoyeso posee un % de humedad de 18,4 ± 0,67, bajo contenido de flúor (< 0,1%), bajo contenido de materia orgánica (<0,05 %), pH ácido (4,31± 0,01) y granulometría similar a una arena fina según la clasificación de suelos AASHTO.

- El fosfoyeso posee granulometría de 100% inferior a 4,76 mm, 86,25 ± 1,71 % inferior a 75 micras y 84,12 ± 1,98 % inferior a 45 micras, comparable con la de agregados finos utilizados en la fabricación de concreto, mortero y componentes, según la norma COVENIN 273:1998.

- Por las propiedades fisicoquímicas del fosfoyeso y condiciones técnico económicas de operación e instalación, se seleccionó la fabricación de bloques como alternativa de uso del fosfoyeso producido en Pequiven.

- Para el acondicionamiento del fosfoyeso para obtención de bloques, se determinó una formulación de mezcla de mortero constituida por 49% de fosfoyeso, 29% de cemento, 10% de suelo y 12% agua, mezclado a 140 rpm por 2 min, moldeo por medio de compactación a 50 psi y relación de compresión de 2:1, y fraguado a condiciones ambientales.

- El proceso a escala piloto para acondicionamiento del fosfoyeso seleccionado consiste en un proceso por lotes, con alimentación de materia prima, mezclado, trasegado de la mezcla, prensado y secado a condiciones ambientales, con los cual se podrán fabricar bloques huecos de concreto tipo B, que no soportan cargas o para paredes divisorias, semipesados y que cumplan con las especificaciones de la norma COVENIN 42:82.

- Para la alimentacion de materias primas se seleccionó un alimentador de correa para suministro de fosfoyeso, suelo y cemento, una tubería de ½" con un tramo perforado para una mayor dispersión del agua en el mezclador, una válvula de cierre rápido y contador de volumen con la cual se podrá controlar la cantidad de agua suministrada al proceso.

- Se seleccionó un mezclador horizontal con agitador de paletas, seguido de un elevador de cangilones y un sistema de prensa hidráulica con los cuales se podrá manipular el tipo de mortero generado, y obtener bloques de manera práctica y ergonómica.

- Para la implantación de planta a escala piloto para fabricación de bloques, se requiere una inversión estimada de 317.054,08 Bs. para ingeniería, 675.669,95 Bs. para procura de equipos, materiales e instrumentos, y 147.162,96 Bs. para instalación que suma un total de 1.139.887,0 Bs.

- Se propone la instalación de una bandeja en la parte inferior de la prensa hidráulica, para recolección de los efluentes líquidos generados en la fabricación de bloques, y la recirculación de estos y de las aguas utilizadas para mantenimiento de los equipos, con lo cual se respetará el Decreto venezolano Nº 883, impidiendo posibles contaminaciones a causa de la manipulación de materiales empleados.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere la puesta en marcha de la alternativa de uso del fosfoyeso propuesta en este proyecto.
- Se recomienda hacer la ingeniería de detalle con un equipo multidisciplinario integrado por especialista(s) de electricidad, instrumentación, civil y especialmente mecánica.
- Se recomienda realizar ensayos para formación de briquetas y/o bloques con suelos de otras regiones.
- Se sugiere realizar evaluación económica de pérdidas o ganancias asociadas a la propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, A. (2011). “Aluminio en el suelo”. Global Turf Network. Disponible en: http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/686-aluminio-en-el-suelo.

A.O.A.C. (1990) “Official Methods of Analysis”. 15th Edition.

Caldera. R. (1995). DECRETO Nº 883. Normas Para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Liquidos. Caracas. Venezuela.

Camacho, N. (2009). ¨Norma Pequiven N° C-PY-AY-TI-CD-I-001. Instrucción para la codificación de proyectos, documentos y planos”.

Carrillo, J. (2008). “Empleo de fosfoyeso y espuma de azucarería para mejorar la capacidad de retención de As, Cd y TI en un suelo ácido”. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.

Castillo, P., y Tovar, W. (2009). ‘Evaluación de la propiedades físico-mecánicas de morteros elaborados con un subproducto generado en el proceso de obtención del ácido fosfórico (fosfoyeso) como sustituto parcial del cemento”. Trabajo especial de grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto.

CEDEX. (2010). “Ficha técnica – Fosfoyeso”. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. España. Disponible en: http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos.

Chavez, H. (1998). Decreto 2635. Normas Para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos de la Peligrosos de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial Extraordinaria No 5245. Caracas, Venezuela.

CICSA. (2014). "Cálculos preliminares de proyecto para elevadores de cangilones". Vla dell'industria. Disponible en: https://es.scribd.com/.../calculo-de-elevadores.

COVENIN. (1976). "Norma Venezolana COVENIN 935:76, Cemento. Especificaciones para cementos. Portland – escoria." Caracas, Venezuela: Fondonorma.

COVENIN. (1982). "Norma Venezolana COVENIN 42:82, Bloques Huecos de Concreto". Caracas, Venezuela: Fondonorma.

COVENIN (1992). "Norma Venezolana COVENIN 493:92. Cemento Portland. Determinación del tiempo de fraguado por la aguja de Vicat¨. Caracas, Venezuela: Fondonorma.

COVENIN. (1993). "Norma Venezolana COVENIN 489:93, Cemento Portland. Determinación de la Finura por Medio del Cedazo N^0 325 (45 Micras)". 3ra revisión. Caracas, Venezuela: Fondonorma.

COVENIN. (1994). "Norma Venezolana COVENIN 492:1994, Cemento Portland. Determinación de la Densidad Real". 1ra Revisión. Caracas, Venezuela: Fondonorma.

COVENIN. (1998). "Norma Venezolana COVENIN 273:1998, Concreto, Mortero y Componentes. Terminologia". 1ra Revisión. Caracas, Venezuela: Fordonorma.
Del Castillo, H., Rico, A. (2005). "La ingeniería de suelos en la vías terrestres". Vol. 2. Mexico, Mexico: Editorial Imusa.

Elkhadiri, I., Diouri, A., Boukhari, A., Puertas, F., y Vasquez, T. (2002). "Obtención de cementos belíticos de sulfoaluminatos a partir de residuos industriales". Vol. 53, Nº 270, España: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/.../326.pdf.

Espinosa, A., y Lobo, D. (1999). "Efectos de la aplicación de fosfoyeso sobre algunas propiedades de un suelo franco arenoso". Apartado: 4579. Vol. 7, Nº 1 y 2, UCV-Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela.

Garcia, D., Rodriguez, R. (1992). Norma "PDVSA N° H-221. Materiales de Tubería". Manual de ingeniería de diseño, vol. 13-I, especificación de Ingeniería. PDVSA.

Gilarranz, J., Santamaria, E. (1994). Norma "PDVSA N° L-TP 1.3. Identificación y Numeración de Tuberías". Manual de ingeniería de diseño, Vol. 15, procedimiento de ingeniería. PDVSA.

Gonzalez, W. (1989). "Nutrición Animal". Editorial América. Caracas, Venezuela.

Good Year. (2014). "Correas plylon". Catalago.

Industrias I (2014). "Transporte de sólidos". Disponible en: http://es.scribd.com/doc/223825933/08-Apunte-TteSolidos.

Magalhanes, M. (2007). “Processamiento mineral”. Sao Paulo, Brasil: MCE – Consultoria e Engenharia Ltda.

Martínez, J., Maldonado, M.., Pupo, H., y Mejías, J., (2014). “Metodología de cálculo de transportadores de banda”. Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos78/metodologia-calculo-transportadores-banda/metodologia-calculo-transportadores-banda2.shtml#ixzz3F4bPg2eE.

Maskepak (2014). ¨Catalogo transportadores cintas¨. Disponible en: www.Maskepack.com.

Mataix, C. (1999). “Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas”. 4ta. Edición. Mexico: Harla.

Naar, L. (2009). “Norma PDVSA N° L-TP1.2, Simbología para planos de proceso”. Revisión 0, Manual de ingeniería de diseño.

Norma Mexicana NMX-AA-032-1976 “Determinación de Fósforo Total en Desechos Sólidos (Método del Fosfanadomolibdato). Disponible en: htp://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/medioambiente/varios/leyes_y_NoRMAS_SEMARNAT/NMX/nmx.htm.

PARKER. (2007). ‘Mangueras hidráulicas terminales y equipos”. Manual técnico. Boletín BUL/C4400-A/ES. Parker Hannifin Espana S.A.

PDVSA, (1997). “Norma N° MDP–11–MS–01, Almacenamiento en silos y tolvas”. Revisión 0. Manual de diseño de proceso.

PDVSA, (1997). “Norma N° MDP–11–MT–01, Sistemas Alimentadores”. Revisión 0. Manual de diseño de proceso.

PDVSA, (1997). “Norma N° MDP-11-MT-02, Sistemas transportadores: Correas transportadoras”. Revisión 0. Manual de diseño de proceso.

PDVSA, (1997). “Norma N° MDP-11-MT-03, Sistemas transportadores: Transportadores de cadena, de tornillo, vibradores, tipo “en masse” y elevadores de cangilones”. Revisión 0. Manual de diseño de proceso.

Parrilla, A. (2004). “Materiales marginales en el PG-3”. Dirección General de Carreteras - Ministerio de Fomento, España.

Perry, R. (2001). “Manual del ingeniero químico”. Séptima edición. Vol. 3. Caracas, Venezuela: Editorial Mc Graw Hil.

Perozo, B. (2002). “Esquema general de anteproyecto del trabajo especial de grado”. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Piedecausa, B., (2011) “Radioactividad natural de los materiales de construcción Aplicación al hormigón. Parte I. Radiación externa: Índice de riesgo radioactivo”. Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN, N^0 945, Agosto 2011. ISSN:0008-8919. PP:40-65.

Power Team. “Productos, sistemas y herramientas hidráulicas para trabajos pesados de alta calidad”. PTM10ES –Catálogo abreviado. SPX Hydraulic Techologies.

Quiroga, R., Flores, L., y Higuera, O. (2010). "Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sinfín para mortero seco". Ano XVI, N° 45. ISSN 01-1701, Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira.

Rangel, S. (2011). "Informe inspección anual laguna de yeso octubre 2011" Pequiven. Venezuela.

Reyes G. (2010). ¨Calculo y selección del equipo hidráulico para máquina de compactación de material reciclaje como papel, cartón, plástico y aluminio¨. Tesis. Instituto Politecnico Nacional. Mexico.

Rojas, M. (2012). "Informe de Ensayo, muestras especiales". PEQUIVEN, S.A. Moron, Venezuela.

Rojas, O. (1993). "Evaluación económica del proyecto de comercialización de fosfoyeso del Complejo Petroquímico Morón". Trabajo especial de grado. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Sabino, C. (1992). 'El proceso de investigación'. Documento en línea, disponible: http://paginas.ufm.edu/Sabino/PI.htm.

Silva, A. (2011). "Potencialidades de uso agrícola del fosfoyeso en Venezuela". UNFER, PEQUIVEN. Disponible en: http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/propiedades_procesos/PPS23.pdf.

Tayibi, H., Gasco, C., Navarro, N., Lopez, A., Alvarez, A., Yague, L., y Alguacil, J. (2011). "Valorización de fosfoyeso como material de construcción: aspectos radiológicos". Vol. 61, 304,503-515. Centro Nacional de Investigaciones

Metalúrgicas (CSIC), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). España.

Toro, M. (2013). Norma PDVSA N° L-TP1.1. "Preparación de diagramas de proceso". Revisión 4, Manual de ingeniería de diseño.

Toro, M. (2013). Norma PDVSA N° L-TP1.3. "Identificación de equipos, tuberías de proceso e instrumentos". Revisión 4, Manual de ingeniería de diseño.

Toro, M., Vivas, N. (2012). Norma PDVSA O-201. "Selección y especificaciones de aplicación de sistemas protectivos de pintura". Revisión 6, Manual de ingeniería de diseño.

Vasquez, O. (1994). "El fosfoyeso como fertilizante complementario y su futuro como nuevo producto en la industria nacional". Trabajo especial de grado. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

WAM Inc. (2002). "CEMA screw conveyor – wam shaftless screw conveyor – drag conveyor – bucket elevators. Catalog". Estados Unidos: Editorial WAMGROUP communication Centre. Disponible en: http://www.cemanet.org/screw-conveyor/publication.

APÉNDICES

Apéndice A. Ecuaciones Aplicadas

En esta sección se presentan los modelos matemáticos empleados para los cálculos requeridos. La aplicación de dichos modelos se presenta en el apéndice C y sus resultados en el apéndice B.

Apéndice A-1. Ecuaciones utilizadas para determinación de parámetros físico químicos

- **Densidad aparente**

Según: Magalhanes (2007):

$$\rho = m/v \qquad \text{A.1}$$

Dónde: m: masa, en unidades de masa (g, kg, lb…)

v: Volumen aparente, en unidades de volumen (mL, m^3, pie^3…)

ρ: Densidad aparente, en unidades de gramos por volumen (g/mL, Kg/m^3, lb/pie^3…)

- **Densidad real**

Según Norma COVENIN 492:1994, la densidad real es igual a la siguiente ecuación.

$$\rho = m/(V_2 - V_1) \qquad \text{A.2}$$

Dónde: m: masa del cemento, en g

V_1: Volumen inicial (volumen del kerosene), en mL

V_2: Volumen final (volumen del kerosene + muestra) en mL

ρ: Densidad real de la muestra, en g/cm^3

- **% Material pasante**

Según Magalhanes (2007):

$$\% \text{ Mp} = \text{material pasante} * 100/\text{masa muestra} \qquad \text{A.3}$$

Dónde: Material pasante: peso muestra inicial o introducida al tamiz – material retenido en tamiz

- **Finura**

Según Norma COVENIN 489-93, la finura se determina por las siguientes ecuaciones.

$$Rc = Rm\ (100+C)$$

f =100 – Rc, sustituyendo la Rc, se tiene:

$$f = 100 - Rm\ (100+C) \qquad \text{A.4}$$

Dónde: Rc: residuo corregido en porcentaje

f: Finura, expresada como el porcentaje corregido pasante por el cedazo N° 325

Rm: Residuo de la muestra retenido en el cedazo N° 325, en gramos.

C: Factor de corrección

- **Contenido de flúor**

Según Gonzales (1989), el flúor se determina por la siguiente ecuación.

$$\% F = \frac{(\text{ppm leído en el gráfico}) * 10}{\text{mg de muestra seca}} \qquad \text{A.5}$$

- **Contenido de pentoxido de fósforo (P_2O_5)**

Según la Norma Mexicana NMX-AA-032-1976, se determina con la siguiente ecuación.

$$\% P_2O_5 = \frac{m_1 * V_1 * V_2}{mo * A_1 * A_2} * 100 \qquad \text{A.6}$$

Dónde: m1: masa en mg de P2O5 leídos en la curva de calibración

V_1: Volumen en mL de la solución e la porción de análisis

V_2: Volumen en mg de la dilución D1

M_O: Masa en mg de la porción de análisis

A_1: Volumen en mL de la alícuota 1

A_2: Volumen en mL de la alícuota 2

- **Contenido de materia orgánica**

Según Perez (1983):

$$\% \text{ M.O.} = m_o * (1/1000) * 1.333 * 1{,}724 * (100/M) \quad \text{A.7}$$

Dónde: $m_{o:}$ mg de carbón

1,333: Factor de oxidación, asumiendo que bajo las condiciones del método hay una oxidación promedio del 75% del carbono (100/75 = 1,33).

1,724: Factor de conversión de % carbono orgánico a % de materia orgánica, asumiendo que bajo las condiciones del método la materia orgánica de la muestra posee un 58 % de carbono (100/58=1,724)

M: Peso en gramos de la muestra.

- **Humedad**

Según A.O.A.C (1990), el residuo que queda luego de la aplicación del método es el contenido de sólidos, y la masa evaporada constituyen la humedad, esto es:

$$\% \text{ ST} = (Pmb-Pb)/Pm*100 \quad \text{A.8}$$

$$\% \text{ H} = 100-\% \text{ ST} \quad \text{A.9}$$

Dónde: % ST: porcentaje de sólidos totales

Pm: Peso muestra húmeda, en g.

Pmb: Peso de muestra seca + bandeja, en g.

Pb: Peso bandeja, en g.

% H: Porcentaje de humedad

- **Absorción de agua**

Según Norma COVENIN 42-82:

$$A=(P2-P1)*100/P1 \qquad A.10$$

Dónde: P1: peso seco de cada muestra

P2: Peso de la muestra después de 24 horas sumergida

Apéndice A-2. Ecuaciones generales utilizadas

- **Promedio**

Según Perry (2001), el promedio o media aritmética se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\dot{X}=\sum_i^n Xi/n \qquad A.11$$

Dónde: $\dot{X}$: valor promedio

Xi: Valor parcial

n: Número de valores

- **Desviación estándar**

Según Perry (2001), se calcula con la siguiente expresión.

$$S=\sqrt{\frac{\sum(xi-x)^2}{n-1}} \qquad A.12$$

Dónde: Xi: valor parcial

X: Valor promedio

n: Número de valores

- **Valor real**

Según Perry (2001), se calcula con la siguiente expresión.

$$\text{Valor real} = \dot{X} \pm S \qquad A.13$$

Dónde: Ẋ: valor promedio

S: Desviación estándar.

Apéndice A-3. Ecuaciones utilizadas para cálculos de equipos

- **Capacidad de transporte de correa transportadora**

Según norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997):

$$TPH = \frac{A*\rho g*\nu}{4800} \qquad A.14$$

Dónde: A: sección transversal de la carga, en pulgadas cuadradas

pg: Densidad a granel, en lb/pie3

ν: Velocidad de la correa, en pie/min.

TPH: Capacidad de transporte en toneladas por hora

- **Distancia libre de borde de cinta transportadora**

Según norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997):

$$C = 0{,}055B+0{,}9 \qquad A.15$$

Dónde: C: distancia libre de borde, en pulgadas

B: Ancho de la correa, en pulgadas

- **Potencia de cinta transportadora**

Según norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997):

$$P=LKt(Kx+KyMc+0{,}015Mc)+KyLMm+HMm*\upsilon/33000 \qquad A.16$$

Dónde: P: potencia requerida por la correa, en Hp

L: Longitud de la correa, en pies

Kt: Factor de temperatura, adimensional

Kx: Factor de resistencia de los rodillos libres, en lb por pie de correa

Ky: Factor de resistencia para mover la correa y la carga, adimensional

Mc: Peso de la correa, en libras por pie de correa

Mm: Peso del material, en libras por pie de correa

H: Elevación, en pies

υ: Velocidad de la correa, en pie/min.

El factor de resistencia de los rodillos libres se calcula usando la siguiente ecuación:

$$Kx=0,00068\ (Mc+Mm)+Pi/v \qquad A.17$$

Dónde: Ai: potencia requerida por la correa, en Hp1 (Para correas regenerativas en declive, $P_i = 0$).

Para poder tener una aproximación a la potencia requerida por una correa transportadora, se calcula la siguiente expresión:

$$P=Te*v/33000 \qquad A.18$$

Dónde: Te: tensión efectiva de la correa, en lb de tensión

A su vez Te, se te calcula por la siguiente expresión.

$$Te = c*(L+Lo)*(Q+100T/3v) \pm 100T*H/3v \qquad A.19$$

Dónde: c: factor de fricción compuesto, adimensional

L: Longitud de la correa, en pies

Lo: Longitud equivalente, en pies (ver tabla G-4, en apéndice G)

Q: Factor de peso de las partes movibles de la correa, en libras por pie de correa (ver tabla G-5, en apéndice G).

T: Capacidad de la correa, en ton/h (2000 lb/h)

H: Elevación, en pies

υ = Velocidad de la correa, en pie/min.

- **Fuerza**

Según Perry (2001):

$$F=\rho*g*v \qquad A.20$$

Dónde: ρ: densidad, en Kg/m^3 ó Lb/pie^3

g: Gravedad: 9,8 m/s ó 32,17 pie/s

v: Volumen, en m^3 ó pie^3

- **Área de un cilindro**

Según Perry (2001):

$$A=\pi*D^2/4 \qquad A.21$$

Dónde: D: diámetro, en cm, m, ft, in.

π: Constante adimensional: 3,141592

- **Volumen de un cilindro**

Según Perry (2001):

$$V= A*h \qquad A.22$$

Dónde: A: área del cilindro

h: Altura del cilindro

- **Potencia para mover el eje de un mezclador**

Según Quiroga (2010):

$$HPf=L*N*Fd*fb/1000000 \qquad A.23$$

Dónde: HPf: potencia para mover el transportador desocupado, en hp

L: Longitud a transportar, en pies

N: Velocidad angular, en rpm

Fd: Factor según el diámetro del equipo (Ver tabla G-11)

- **Potencia para mover el material en un mezclador**

Según Quiroga (2010):

$$HPm=C*L*W*Ff*fm*Fp/1000000 \qquad A.24$$

Dónde: C: capacidad, en ft^3/h

W: Densidad del mortero seco, en lb/ft^3

Ff: Factor debido al porcentaje de carga (ver tabla G-13)

Fm: Factor de material (ver tabla G-14)

Fp: Factor por el número de paletas por paso (ver tabla G-15)

- **Capacidad de elevador**

Según Norma PDVSA MDP–11–MT–03:

$$T=VMS/(6400S), \text{ Para cangilones al 75 \% de su capacidad} \quad A.25$$

$$T=VMS/(8000S), \text{ Para cangilones al 60 \% de su capacidad} \quad A.26$$

Dónde: T: capacidad pico, en ton/h

S: Velocidad, en pie/min

M: Densidad del material, en lb/pie^3

S: Distancia entre centros de los cangilones, en pie

V: Volumen útil del cangilón, en pie^3

- **Fuerza de roce**

Según Mataix (1999):

$$Froce = 2 * \mu * N \quad A.27$$

Dónde: μ: Coeficiente de fricción del material

N: Peso del material + peso de lamina

- **Fuerza de compresión para un cilindro pistón**

Según Mataix (1999):

$$Fc=P*A \quad A.28$$

Dónde: P: presión, en kgf/cm^2

Fc: Fuerza de compresión , en Kg

A: Área del embolo, en cm^2

- **Fuerza de tracción para un cilindro pistón**

Según Mataix (1999):

$$Ft=P*A_2 \qquad A.29$$

Dónde: P: presión (kgf/cm^2)

Ft: Fuerza de tracción (Kg)

A_2: Área de un cilindro, calculada mediante A.20, siendo $D= d_1–d_2$, en cm^2

d_1: Diámetro del embolo

d_2: Diámetro del vástago

- **Caudal**

Según Perry (2001)

$$Q=v*A \qquad A.30$$

Dónde: Q: caudal (cm3/seg)

v: Velocidad (cm/seg)

A: Área (cm2)

- **Fuerza de extensión para un cilindro pistón**

Según Mataix (1999):

$$Fe=P*A*0,9 \qquad A.31$$

Dónde: P: presión (kgf/cm2)

Fe: Fuerza de extensión (Kg)

A: Área del embolo (cm2)

0,9: Coeficiente de rozamientos de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro

- **Fuerza de retracción para un cilindro pistón**

Según Mataix (1999):

$$Fe=P*A_2*0,9 \qquad A.32$$

Dónde: P: presión (kgf/cm2)

Fr: Fuerza de retracción (Kg)

A_2: Area, calculada mediante A.20, siendo $D=d_1-d_2$, en cm^2

d_1: Diámetro del embolo

d_2: Diámetro del vástago

0,9: Coeficiente de rozamientos de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro

- **Desplazamiento volumétrico**

Según Mataix (1999):

$$Dv=LPM*1000/RPM \quad \text{A.33}$$

Dónde: Dv: desplazamiento volumétrico

LPM: Caudal, en litros por minuto

RPM: Velocidad angular

- **Potencia**

Según Mataix (1999):

$$Pot=P*Q/(1714*\eta) \quad \text{A.34}$$

Dónde: Pot: potencia, en Hp

P: Presión del sistema, en psi

Q: Caudal, en GPM

ŋ: Eficiencia

- **Reynolds**

Según Perry (2001),

$$Re=1000*v*d/vi \quad \text{A.35}$$

Dónde: Re: número de Reynols

V: Velocidad del flujo, en m/s

d: Diámetro interior de la tubería, en mm

vi: Viscosidad cinemática, en st ó mm^2/s

- **Coeficiente de rozamiento**

Según, Mataix (1999): para flujo laminar:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{A.36}$$

Para flujo turbulento:

$$\lambda = \frac{0{,}316}{4*\sqrt{Re}} \quad \text{A.37}$$

Dónde: λ: coeficiente de rozamiento

Re: Número de Reynolds

- **Pérdidas de presión en tubos rectos**

Según, Mataix (1999):

$$\Delta P = \lambda * 10 * L * v * \rho / 2 \quad \text{A.38}$$

Dónde: ΔP: pérdida de presión, en N/m^2

λ: Coeficiente de rozamiento

L: Longitud, en m

v: Velocidad del flujo, en m/s

ρ: Densidad del fluido, en Kg/m3

- **Volumen de una pirámide truncada**

Según Perry (2001),

$$V = \frac{h}{3}(A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) \quad \text{A.39}$$

Dónde: h: altura

A1: Área de base

A2: Área de la base truncada

- **Volúmen de un cubo**

Según Perry (2001), es:

$$V=a^3 \qquad \text{A.41}$$

Dónde: a: arista, m

Apéndice A-4. Características físico-mecánicas

- **Resistencia a la compresión**

Según Norma COVENIN 341-79 (1979):

$$Rc=Cm/Sb \qquad \text{A.42}$$

Dónde: Rc: resistencia a la compresión, en Kg/cm^2

Cm: Carga máxima soportada, en Kg

Sb: Superficie bruta, en cm^2

- **Capacidad equivalente**

Según Quiroga (2010):

$$Ceq=Cr*CF1*CF2*CF3 \qquad \text{A.43}$$

Dónde: Ceq: capacidad equivalente

Cr: Capacidad requerida

CF1: Factor especial de capacidad por el tipo de paso (ver tabla G-8)

CF2: Factor especial de capacidad por tipo de hélice (ver tabla G-9)

CF3: Factor especial de capacidad por paletas mezcladoras (ver tabla G-10)

- **Potencia total de mezclador**

Según Quiroga (2010):

$$HT = (Hpf+Hpm)*Fo/e \qquad \text{A.44}$$

Dónde: HPm es la potencia para mover el material, en hp

HPm es la potencia para mover el material, en hp

Fo es el factor de sobrecarga (ver tfigura F-7)

e: es el factor de eficiencia (ver tabla G-16)

- **Tensión de elevadores**

Según Norma PDVSA MDP–11–MT–03:

$$T_1 = (W_C + W_B + LL)H \quad \text{A.45}$$

$$T_2 = (W_C + W_B)H \quad \text{A.46}$$

Dónde: T_1 = tensión del "lado tenso", en lbf

W_C = peso de la correa o cadena, en lb/pie

W_B = peso de los cangilones, en lb/pie

LL = peso de la carga, en lb/pie

H = distancia entre los centro de los rodillos o piñones, en pie

T_2 = tensión del "lado suelto", en lbf

- **Potencia requerida en elevadores**

Según Norma PDVSA MDP–11–MT–03:

$$Hp = H*T/500, \text{ para elevadores espaciados} \quad \text{A.47}$$

$$Hp = H*T/550, \text{ para elevadores continuos} \quad \text{A.48}$$

Dónde: T = capacidad pico, en ton/h

H = distancia entre los centro de los rodillos o piñones, en pie

Apéndice B. Cálculo de las características fisicoquímicas

Apéndice B-1. Cálculos típicos

En esta sección se presentan un ejemplo de aplicación para las ecuaciones generales, las cuales se utilizaron de manera reiterada.

- **Promedio**

Tomando como ejemplo los valores obtenidos de densidad ilustrados en la tabla B-1, y utilizando la ecuación A.11, se determinó el promedio de la siguiente manera:

$$\text{Densidad promedio} = (2{,}13+2{,}12+2{,}07)\ \text{g/mL} = 2{,}11\ \text{g/mL}$$

- **Desviación**

Continuando con el ejemplo de densidad para el fosfoyeso y aplicando la ecuación A.11, se tiene:

$$S=\sqrt{\frac{(2{,}13-2{,}11)^2+(2{,}12-2{,}11)^2+(2{,}07-2{,}11)^2}{3-1}} = 0{,}03$$

- **Valor real**

Siguiendo la expresión A.13, y el ejemplo anterior, la densidad entonces se establece como:

$$\text{Densidad real} = (2{,}11 \pm 0{,}03)\ \text{g/mL}$$

Apéndice B-2. Calculo de propiedades

Determinación de densidad real

Se realizó sustituyendo los datos experimentales mostrados en la tabla B-1, en la ecuación A.2.

Para la muestra 1 de fosfoyeso: Densidad1 = 64 g/(411-381)mL=2,13 g/mL

Para la muestra 2 de fosfoyeso: Densidad2 = 63,5 g/(410-380)mL=2,12 g/mL

Para la muestra 3 de fosfoyeso: Densidad3 = 64,2 g/(413-382)mL=2,07 g/mL

Se calculó el promedio de todas las densidades de las muestras, mediante la ecuación A.11, luego se estimó la desviación por medio de la ecuación A.11, de la misma manera que el cálculo típico.

En la tabla B-1, se muestran los datos experimentales y los resultados exportados de Excel.

Tabla B-1. Determinación de densidad real de fosfoyeso, suelo y cemento

Material	**Fosfoyeso**			**Cemento**			**Suelo**		
Propiedad	**M1**	**M2**	**M3**	**M1**	**M2**	**M3**	**M1**	**M2**	**M3**
V_1(mL)	381	380	382	391	390	392	383	379	375
V_2(mL)	411	410	413	413	414	415	407	404	406
M (g)	64	63,5	64,2	64	64,2	64,5	54	55	62
Densidad (g/mL)	**2,13**	**2,12**	**2,07**	**2,91**	**2,68**	**2,80**	**2,25**	**2,20**	**2,00**
Densidad promedio (g/mL):			**2,11**			**2,80**			**2,15**
Desviación			**0,03**			**0,12**			**0,13**

Datos experimentales Valores calculados

La densidad real final según la expresión A10 es: (2.11 ± 0,03) g/mL.

Para las muestras de cemento y suelo, se realizaron los cálculos de manera similar.

- **Determinación de pH**

Al igual que para la densidad, se calculó el pH promedio mediante la ecuación A.11. En la tabla B-2, se presentan los datos experimentales y los resultados.

Tabla B-2. Determinación de pH

Muestra Nº	pH
1	4,33
2	4,35
3	4,33
Promedio	**4,34**
Desviación	**0,011**

Datos experimentales Valores calculados

La desviación se calculó por medio de la ecuación A.11, y siguiendo la expresión A.13, se tiene:

$$pH = 4,34 \pm 0,011$$

- **Determinación de Finura**

La muestra tomada para todos los ensayos fue de 100 g.

La finura se estimó para cada muestra, sustituyendo los datos experimentales presentados en la tabla B-3, en la ecuación A.4.

Para las muestras retenidas en Tamiz nº 325, siendo C=10 (datos del tamiz), y aplicando la ecuación A.4, se tiene:

f = 100-0,135*(100+10) = 85,150; para muestra 1

f = 100-0,165*(100+10) = 85,850; para muestra 2

f = 100-0,133*(100+10) = 85,370; para muestra 3

De la misma manera se aplicó para las muestras pasadas por el tamiz Nº 200. Los resultados se presentan en la tabla B-3.

Tabla B-3. Determinación de finura

Muestra Nº	Tamiz N° 325		Tamiz N° 200	
	Residuo retenido (g) Rm	Finura (%) f	Residuo retenido (g) Rm	Finura (%) f
1	0,135	85,150	0,11	**87,90**
2	0,165	81,850	0,141	**84,490**
3	0,133	85,370	0,124	**86,360**
Finura promedio (%):		**84,123**		**86,250**
Desviación		**1,972**		**1,708**

Datos experimentales Valores calculados

Aplicando las ecuaciones A.11, A.12 y A.13, para el total de muestra retenidas en tamiz Nº 325 se tiene:

f = 84,123 ± 1,972

Para el total de muestras retenidas en tamiz Nº 200:

F= 86,250 ± 1,708

- **Determinación de granulometría**

Para el fosfoyeso, teniendo tres muestras iniciales de 100 g cada una, y aplicando la ecuación A.3, a los datos experimentales presentados en la tabla B-4, se estimó el porcentaje de material pasante.

% Material pasante = (100-11)*100/(100) = 89; para la muestra 1

% Material pasante = (100-8)*100/(100) = 92; para la muestra 2

% Material pasante = (100-5,5)*100/(100) = 94,5; para la muestra 3

Luego, aplicando, las ecuaciones A.11 y A.12, se tiene:

% Material pasante = 91,83 ± 2,75

Tabla B-4. Porcentaje de fosfoyeso pasante en tamiz N◦ 4,75

N	Peso material retenido (g)	% material pasante
1	11	89
2	8	92
3	5,5	94,5
	Promedio (%)	**91,83**
	Desviación:	**2,75**

Datos experimentales Valores calculados

Para el suelo, con una muestra inicial de suelo de 1449,5 g, y los pesos de material retenido en cada tamiz (ver tabla B-5), se calculó la cantidad de material pasante en cada tamiz, utilizando la ecuación A.3, de la siguiente manera:

Cantidad pasante en tamiz Nº 4,75= (1449,5-126) g =1323,5

% Pasante en tamiz Nº 4,75 = 1323,5*100/1449,5 = 91,31

Cantidad pasante en tamiz Nº 8= (1323,5-592) g =731,5

% Pasante en tamiz Nº 8 = 731,5*100/1323,5 = 91,31

Cantidad pasante en tamiz Nº 8= (1323,5-592) g =731,5

% Pasante en tamiz Nº 8 = 731,5*100/1323,5 = 91,31

De manera similar, se realizó el cálculo para los tamices N^0 10, 30, 50, 100 Y 150. Los resultados se muestran en la tabla B-5.

Tabla B-5. Resultados de tamizado de suelo

N° Tamiz	Cantidad Retenida (g)	Cantidad pasante (g)	% pasante
4,75	126	1323,5	91,31
8	592	731,5	55,27
10	47	684,5	93,57
30	316	368,5	53,83
50	183	185,5	50,34
100	136	49,5	26,68
500	40	9,5	19,19

Leyenda: Datos experimentales Valores calculados

Gramos perdidos en el tamizado = peso muestra inicial –Peso total cantidades retenidas = (1449,5 –(126+592+47+316+183+136+40))= -9,5 g

% pérdidas: 9,5 * 100/ 1449,5 = 0,66

- **Determinación de humedad**

Para el cálculo de humedad, se determinaron los sólidos totales como los residuos en las capsulas, tal como se describe en el método A.O.A.C (1999).

De esta manera, para el fosfoyeso por ejemplo, aplicando la ecuación A.8 a los datos experimentales ilustrados en la tabla B-6, se tiene:

% ST1 = (191,1-182,9)/10*100 = 82; para la muestra 1

% ST2= (191,3-183,1)/10*100 = 82; para la muestra 2

% ST3 = (191,4-183,3)/10*100 = 80,83; para la muestra 3

Aplicando la ecuación A.9, se tiene:

$$\% H=100-82 =18$$

Finalmente, el porcentaje de humedad es 18,39 ± 0,671

En la tabla B-6 se muestran los resultados.

Tabla B-6. Determinación de Humedad en fosfoyeso

Muestra Nº	Peso muestra húmeda	Peso bandeja	Peso muestra seca + bandeja	% Solidos totales	% Humedad
1	10	182,9	191,1	82	18
2	10	183,1	191,3	82	18
3	10,02	183,3	191,4	80,84	19,16
			Promedio (%):	**81,61**	**18,39**
			Desviación:	**0,671**	**0,671**

Datos experimentales Valores calculados

Para las muestras de suelo, los cálculos se hicieron de manera similar. Los resultados se presentan en la tabla B-7.

Tabla B-7. Determinación de Humedad en suelo

N°	Peso muestra humeda (g)	Peso bandeja (g)	Peso muestra seca + bandeja (g)	% Solidos totales	% Humedad
1	1397	183,5	1449,5	90,62	9,38
2	1316	183,4	1385,3	91,33	8,67
3	1336	183,4	1388	90,16	9,84
		Promedio(%) =		**90,71**	**9,29**
		Desviación =		**0,587**	**0,587**

Datos experimentales Valores calculados

- **Determinación de tiempo de fraguado**

Se estimaron los tiempos de fraguado inicial y final del fosfoyeso utilizando la ecuación de promedio A.11, como ilustrado en el cálculo típico. Los datos experimentales y los resultados se presentan en la tabla B-6.

Tabla B-6. Determinación de tiempo de fraguado

Muestra Nº/ Unidad	Tiempo de fraguado inicial		Tiempo de fraguado final	
	min	h	min	h
1	88,7	1,48	182	3,03
2	90	1,5	180	3
3	91	1,52	178	2,97
Tiempo promedio	**89,90**	**1,5**	180	3
Desviación	1,15	0,019		**0,033**

Datos experimentales Valores calculados

- **Determinación de materia orgánica**

Siguiendo el método de determinación de materia orgánica descrito en la sección 3.2.1, se tomaron lecturas para la curva de calibración, descritas en la tabla B-7.

Tabla B-7. Datos para la curva de calibración de materia orgánica

Concentración (mg C)	Absorbancia (590 nm)
0,25	0,044
0,5	0,071
1	0,134
1,5	0,244
2	0,268
2,5	0,381
3	0,405
3,5	0,446

Graficando en el eje de las abscisas los valores de concentración de materia orgánica y en el de las ordenadas los valores de las absorbancias, se obtuvo el grafico F-1 (ver apéndice F).

Al medir las muestras preparadas para la determinación de materia orgánica en el espectrofotómetro se obtuvieron valores negativos, estos corresponden a valores mínimos detectables para el equipo (< LD). Debido a esto, el contenido de materia orgánica se determinó mediante la ecuación de la recta obtenida por la siguiente linealización de la curva patrón (grafica F-1 presentada en apéndice F).

La ecuación de la recta como se observa en la gráfica C-1, es y = 0,1303x + 0,0171

Despejando x, se obtiene: X= (y- 0,0171)/ 0,1303

Sustituyendo el valor mínimo de la curva (y=0,044), se obtiene:

$$X= (0,044- 0,0171)/ 0,1303 = 0,2064 = mo$$

Sustituyendo este valor en la ecuación de la recta, se obtiene:

$$\% \text{ M.O.} < 0,2064 *(1/1000) *1,333 * 1,724 * (100/1) <0,0474$$

$$\% \text{ M.O.} < 0,05$$

- **Determinación de flúor**

Siguiendo el método de determinación de flúor, se tomaron lecturas para la curva de calibración, descritas en la tabla B-8.

Tabla B-8. Datos para la curva de calibración de flúor

N	Volumen (mL) concentrado para solución final 100 ppm	Volumen final (mL)	ppm F	Mv
1	0,25	25	**1**	**98**
2	0,5	25	**2**	**84,4**
3	0,875	25	**3,5**	**73,8**
4	1,25	25	**5**	**64,6**
5	1,75	25	**7**	**57,5**
6	2,5	25	**10**	**49,3**

Graficando en el eje logarítmico los valores de ppm de flúor y el potencial expresado en milivoltios en el eje lineal, se obtuvo el grafico F-2 (ver apéndice F).

Se tomaron luego las lecturas en el potenciómetro, reflejadas en la tabla B-9.

Tabla B-9. Datos obtenidos mediante método para determinación de flúor

Nº	Peso muestra seca (mg)	mv
1	10	127,5
2	10	128
3	10	125

Para las muestras analizadas, los valores obtenidos de potencial se encuentran fuera de la curva de calibración. Esto significa que se encuentran por encima del punto máximo, es decir: > 98 mv y concentración de fluor <1ppm, por lo tanto, para el fosfoyeso aplicando la ecuación A.5, se obtiene:

$$\% F < (1 \times 10)/100$$

$$\% F < 0,1$$

- **Determinación de pentoxido de fosforo**

Siguiendo el método de determinación de pentóxido de fosforo, se tomaron lecturas para la curva de calibración, descritas en la tabla B-10.

Tabla B-10. Datos para la curva de calibración de P_2O_5

N	mL de solución patrón	mg de P_2O_5	Absorvancia
1	2	2	0,066
2	3	3	0,104
3	3,5	3,5	0,122
4	4	4	0,141
5	4,5	4,5	0,161
6	5	5	0,182

Graficando en el eje de las abscisas los valores de mg de P_2O_5 y en el de las ordenadas los valores de las absorbancias, se obtuvo el grafico F-3 (ver apéndice F).

Para cada muestra de solución preparada, se tomó lectura de absorbancia, los cuales se reflejan en la tabla B-11.

El contenido de P_2O_5 se calculó utilizando la ecuación A.6.

$$\%\ P_2O_{5\,(1)} = \frac{0{,}535 * 250 * 100}{1000 * 25 * 20} * 100 = 2{,}675;\ \text{para la muestra 1}$$

$$\%\ P_2O_{5\,(2)} = \frac{0{,}639 * 250 * 100}{1000 * 25 * 20} * 100 = 3{,}195;\ \text{para la muestra 2}$$

$$\%\ P_2O_{5\,(3)} = \frac{0{,}483 * 250 * 100}{1000 * 25 * 20} * 100 = 2{,}415;\ \text{para la muestra 3}$$

Mediante la ecuación A.11 se obtuvo el valor promedio y la desviación por medio de la ecuación A.11. Los resultados se presentan en la tabla B-11.

$$\%\ P_2O_5 = 2{,}762 \pm 0{,}397$$

Tabla B-11. Lectura de contenido de P_20_5 para cada alícuota de dilución

N	Alícuota 1 para dilución (mL)	Dilución D de la alícuota 1 (mL)	Alícuota 2 para desarrollo de color tomado de D1 (mL)	Absorbancia leída	mg P_2O_5 leídos	% P_2O_5
1	25	100	20	0,009	0,535	2,675
2	25	100	20	0,013	0,639	3,195
3	25	100	20	0,007	0,483	2,415
				Promedio (%) =		**2,762**
				Desviación =		**0.397**

Datos experimentales Datos leídos en equipo Valores calculados

- **Determinación de densidad aparente**

Se realizó sustituyendo los datos experimentales mostrados en la tabla B-12, en la ecuación A.1. Por ejemplo el fosfoyeso:

$$\text{Densidad1} = 244 \text{ g}/250\text{mL} = 0{,}976 \text{ g/mL}$$

$$\text{Densidad2} = 245 \text{ g}/250\text{mL} = 0{,}980 \text{ g/mL}$$

$$\text{Densidad1} = 244 \text{ g}/250\text{mL} = 0{,}976 \text{ g/mL}$$

Se calculó el promedio de todas las densidades de las muestras, mediante la ecuación A.11, luego se estimó la desviación por medio de la ecuación A.11, de la misma manera que el cálculo típico, obteniéndose:

$$\text{Densidad aparente fosfoyeso} = (0{,}977 \pm 0{,}002) \text{ g/mL}$$

Para el resto de la muestra de suelo, cemento y mezcla se realizaron los cálculos de la misma manera. Los datos y resultados se muestran en tabla B-12.

Tabla B-12. Determinación de densidad aparente

Material	Fosfoyeso			Suelo			Cemento			Mezcla		
Propiedad/Nº Muestra	**M 1**	**M2**	**M 3**	**M 1**	**M 2**	**M 3**	**M 1**	**M 2**	**M 3**	**M1**	**M 2**	**M 3**
V_1(mL)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	252	250	252
M (g)	244	245	244	414	414	410	287	266	267	200	200	200
Densidad (g/mL)	0,976	0,980	0,976	1,656	1,656	1,640	1,148	1,064	1,068	0,794	0,800	0,794
Densidad promedio (g/mL):	**0,977**			**1,651**			**1,093**			**0,796**		
Desviación estándar :	**0,002**			**0,009**			**0,047**			**0,004**		

Leyenda: Datos experimentales Valores calculados

- **Determinación de % de absorción**

Aplicando la ecuación A.11 a los valores experimentales ilustrados en la tabla B-13, se obtuvo:

% Absorción1 = (151,3-124)*100/124 =22,02

% Absorción2 = (175,5-136,9)*100/136,9 =28,2

% Absorción 3= (168,6-132)*100/168,6 =27,73

Aplicado las ecuaciones A.11 y A.12, se tiene:

% Absorción = 25,99 ± 3,44

Apéndice B-3. Cálculo de características fisicoquímicas de briquetas de prueba

Con los valores reportados en la tabla B-13, de peso de briquetas húmedas y briquetas luego de 14 días de secado a condiciones ambientales, se calcularon las pérdidas como diferencia de peso:

Para briqueta 1: peso pérdida1 = peso briqueta húmeda 1 – peso briqueta seca 1

Peso pérdida1 = (230 -201) = 29 g

Llevadas a porcentaje: % peso pérdida de agua 1 = 29*100/230 = 12,61.

Igualmente para las briquetas 2 y 3:

Peso pérdida2 = (225,2 -193) = 32,2 g

% Peso pérdida de agua 2 = 32,2*100/225,2 = 12,61.

Peso pérdida3 = (229 -198) = 31 g

% Peso pérdida de agua 3 = 31*100/229 = 12,61

El promedio de pérdidas se calculó mediante la ecuación A.11 y la desviación mediante A.11. Los resultados se muestran en la tabla B-13.

Tabla B-13. Determinación de porcentaje de evaporación en briquetas

N°	Peso muestra húmeda (g)	Peso briqueta secada a temperatura ambiente (g)	Peso pérdida agua (g)	% Peso pérdida de agua
1	230	201	29	12,61
2	225,2	193	32,2	14,30
3	229	198	31	13,54
Promedio	**228,07**	**197,33**	**30,73**	**13,48**
		Desviación =		**0,85**

Leyenda: Datos experimentales Valores calculados

El porcentaje de evaporación = 13,48 ± 0,85

- **Determinación de humedad en briquetas finales**

Los cálculos se realizaron de igual manera que para las muestras analizadas de fosfoyeso, suelo y cemento, utilizando las ecuaciones A.8 y A.9. Los resultados se presentan en la tabla B-14. Por ejemplo, para la muestra 1:

$$\% ST1 = (476,2-302,5)/197*100 = 88,487$$

$$\% H=100-88,487 =11,513$$

Tabla B-14. Determinación de humedad en briquetas finales

N	Peso placa	Peso muestra (g)	Peso bandeja + muestra seca	% Solidos totales	% de Humedad
1	302,5	197	476,82	88,487	11,513
2	300	190	466,9	87,842	12,158
3	301	193	471,5	88,342	11,658
		Promedio (%) =		**88,224**	**11,776**
		Desviación =		**0,338**	**0,338**

Leyenda: Datos experimentales Valores calculados

- **Determinación de densidad aparente en briquetas**

Las probetas realizadas fueron cubicas de 0,05 m de lado. Aplicando la ecuación A.41, se tiene:

$$V= 0,05*0,05*0,05 = 0,000125\ m^3$$

Tomando el peso promedio calculado de la briquetas (ver tabla B-13), se calculó la densidad apartente mediante la ecuación A.1 como sigue:

Para la briqueta húmeda: densidad = 228,09*1000 Kg/ 0,000125 m^3

$$\text{Densidad} = 1824{,}53\ \text{Kg/m}^3$$

Para la briqueta seca: densidad = 197,33*1000 Kg/ 0,000125 m^3

$$\text{Densidad} = 1578{,}67\ \text{Kg/m}^3$$

- **Determinación de resistencia a la compresión**

Siendo el área de las probetas de 25 cm^2 y aplicando la ecuación A.42 a los datos reflejado en la tabla B-15, así para el ensayo N°1, se tiene:

$$Rc = 13\text{Kg}/25\text{cm}^2 = 0{,}52\ \text{Kg/cm}^2;\ \text{Para muestra 1A}$$

$$Rc = 7/25 = 0{,}28\ \text{Kg/cm}^2;\ \text{Para muestra 1B}$$

$$Rc = 4/25 = 0{,}16\ \text{Kg/cm}^2;\ \text{Para muestra 1C}$$

$$Rc = 18/25 = 0{,}72\ \text{Kg/cm}^2;\ \text{Para muestra 1D}$$

Se determinó el promedio por medio de la ecuación A.11 y la desviación mediante A.11, obteniéndose que para el ensayo N°1, la resistencia a la compresión es:

$$Rc = 0{,}42 \pm 0{,}25$$

Para el resto de los ensayos y muestras, la resistencia se calculó de la misma manera. En la tabla B-15, se presentan los datos y resultados respectivos.

Tabla B-15. Determinación de resistencia a la compresión

NE	Composición de la Mezcla	Tipo de proced.	NM	Kg	Área (cm^2)	Rc (Kg/cm^2)	Rc promedio (Kg/cm^2)	Desviación
1	85% fosfoyeso +15% agua	Moldeado	1A	13	25	0,52	0,42	0,25
			1B	7	25	0,28		
			1C	4	25	0,16		
			1D	18	25	0,72		

Tabla B-15. Determinación de resistencia a la compresión (continuación)

NE	Composición de la Mezcla	Tipo de proced.	NM	Kg	Área (cm^2)	Rc (Kg/cm^2)	Rc promedio (Kg/cm^2)	Desviación
2	80 % suelo + 20% agua	Moldeado	2A	340	25	13,6	13,91	2,20
			2B	406	25	16,24		
			2C	297	25	11,88		
3	70 % suelo + 7 % cemento + 23% agua	Moldeado	3A	57	25	2,28	3,21	1,25
			3B	116	25	4,64		
			3C	68	25	2,72		
4	70 % suelo + 8 fosfoyeso + 22% Agua	Moldeado	4A	59	25	2,36	2,96	0,60
			4B	74	25	2,96		
			4C	89	25	3,56		
5	7 % fosfoyeso + 70% Suelo + 23 % Agua	Moldeado	5A	21	25	0,84	0,79	0,17
			5B	15	25	0,6		
			5C	23	25	0,92		
6	28% suelo + 7% cemento + 41% fosfoyeso + 24% agua	Moldeado	6A	273	25	10,92	8,87	2,42
			6B	237	25	9,48		
			6C	155	25	6,2		
7	40% fosfoyeso + 30% suelo + 15 % cemento + 15% agua	Moldeado	7A	612	25	24,48	25,16	0,77
			7B	625	25	25		
			7C	650	25	26		
8	13% suelo + 64% fosfoyeso + 7% cemento + 17% agua	Moldeado	8A	259	25	10,36	10,44	1,68
			8B	220	25	8,8		
			8C	304	25	12,16		
9	65% suelo + 20 % cemento + 15 % agua	Moldeado	9A	454	25	18,16	20,05	1,92
			9B	500	25	20		
			9C	550	25	22		
10	74 % fosfoyeso + 9% cemento + 16% agua	Moldeado	10A	28	25	1,12	1,37	0,37
			10B	30	25	1,2		
			10C	45	25	1,8		
11	29% suelo + 49% fosfoyeso + 10% cemento + 12% agua	Compresión	11A	732	25	29,28	28,79	0,45
			11B	717	25	28,68		
			11C	710	25	28,4		

Leyenda: NE: Numero de ensayo NM: Numero de muestra Datos leídos en equipo

Valores calculados Datos de diseño de experimento

Apéndice B-4. Determinación de características físicas de bloque

Las dimensiones del bloque se tomaron de acuerdo a la norma COVENIN 42-82, en la figura (F1), se presenta un bosquejo de sus medidas. A partir de dichas medidas se calcularon:

Espesor de todas las paredes = Numero de paredes * Espesor = 4*1,3 cm = 5,2 cm

Largo de todos los huecos= Largo de bloque – Espesor de todas las paredes

= (39-5,2) cm = 33,8 cm

Largo de cada hueco = Largo de todos los huecos/ número de huecos

= 33,8/3 = 11,27 cm

Altura de cada hueco = Altura de bloque – espesor de pared = (19-1,3)cm = 17,7 cm

Ancho de bloque = Ancho de bloque – espesor de pared* numero paredes internas

= (9- 1,3*2) cm = 6,4 cm

Volumen de cada hueco = Ancho hueco*largo hueco*altura hueco

= 11,27*17,7*6,4 = 1276,29 cm^3

Volumen total de huecos = Volumen de hueco * número de huecos

= 1276 * 3 = 3828,86 cm^3

Volumen bruto del bloque = Ancho bloque* largo bloque * altura bloque

= 39*19*9 = 6669 cm^3

Volumen neto del bloque = Volumen bruto del bloque – volumen de todos los huecos

= (6669 – 3828,86) cm^3 = 2840,14

Despejando masa de la ecuación A.1:

Peso bloque = Densidad briqueta seca* Volumen neto bloque

=1578,67 *2840,14/1000 = 4483,63 g = 4,48 Kg

Densidad de bloque = 4483,63/2840,14 cm^3 = 1,57 g/cm^3 = 1578,67 Kg/m^3

Apéndice C. Balance de masa

Base de cálculo: el producto a obtener es un bloque con peso promedio de 4,48 Kg.

De acuerdo al diagrama de flujo de procesos Nº MR13M1301-CCPRP02001 presentado en anexo A, se tienen las corrientes descritas en la tabla C-1.

Tabla C-1. Corrientes de proceso

N de corriente	Descripción
1	Alimentación de fosfoyeso
2	Alimentación suelo
3	Alimentación cemento
4	Alimentación agua
5	Fosfoyeso para tanque de mezclado
6	Suelo para tanque de mezclado
7	Cemento para tanque de mezclado
8	Mezcla para fabricación de bloque
9	Mezcla alimentación a prensa
10	Bloque húmedo
11	Residuo de prensado
12	Pérdidas
13	Bloque seco
14	Agua evaporada

Para el balance, se estimaron primeramente las pérdidas en cada etapa del proceso. En la tabla C-2, se presentan los datos experimentales obtenidos en los ensayos.

Las pérdidas se calcularon con la diferencia de peso de la muestra antes y después de someterla a la etapa de proceso estudiada. Por ejemplo, para la muestra 1 en el mezclado:

Peso pérdidas 1 = (250-249,1) g = 0,9 g

% Pérdidas = 0,9*100/250 = 0,360

Tabla C-2. Estimación de pérdidas en peso del proceso a escala piloto

N°	Peso muestra inicial (g)	Peso mezcla (g)	Pérdida en mezclado (g)	% Pérdidas en mezclado	Peso muestra trasegada (g)	Pérdidas en trasegado (g)	% Pérdidas en trasegado	Peso briqueta húmeda (g)	Residuo sobrante (g)	Pérdidas en prensado (g)	% Pérdidas en prensado	% Pérdidas totales
1	250	249,1	0,9	0,360	248,9	0,2	0,080	230	17	1,900	0,763	1,204
2	250	249,5	0,5	0,200	249	0,5	0,200	225,2	23,1	0,700	0,281	0,682
3	250	247,8	2,2	0,880	247	0,8	0,323	229	16,9	1,100	0,445	1,648
Prom.	**250**	**248,80**	**1,200**	**0,480**	**248,300**	**0,500**	**0,201**	**228,067**	**19,00**	**1,233**	**0,497**	**1,178**
S			**0,889**	**0,356**		**0,3**	**0,121**			**0,611**	**0,245**	**0,484**

Leyenda: Datos experimentales Valores calculados

Se conoce el % de evaporación (calculado en apéndice B),

Porcentaje de evaporación = 13,48 %

A partir de la cual se determina la cantidad de agua a evaporar por cada bloque:

Cantidad de agua evaporada por bloque (g) = peso bloque*% evap./(100-% evap.)

=4,48*13,48/(100-13,48) = 0,7 g

Por otro lado se tiene que: peso húmedo =Peso seco + Agua evaporada

Despejando y sustituyendo el peso del bloque seco se obtiene:

Peso bloque húmedo = (4,48 + 0,7)g = 5,18 g

Considerando 1,178 % de pérdidas totales (reportado en la tabla C-2).

Peso bloque = peso mezcla – peso pérdidas

Sustituyendo el peso del bloque húmedo:

5,18 = peso mezcla – peso pérdida C-1

Por otro lado, % Pérdida = peso pérdida *100 / peso mezcla C-2

Resolviendo las ecuaciones C-1 y C-2 se obtiene: peso mezcla = 5,244 Kg

La composición de la mezcla seleccionada de acuerdo a los resultados de los ensayos es: 49% de fosfoyeso, 29% de suelo, 10% de cemento y 12 % de agua. El fosfoyeso contiene 18,39 % de humedad y el suelo 9,29 % de humedad.

En base seca: (100%-18,39 %)* 49 % = 39,984 % de fosfoyeso

(100% -9,29%)*29% = 26,306 % de suelo

La cantidad de agua que debe entrar por la corriente 4 es:

Peso corriente 4 = Peso mezcla * fracción de agua = 5,244 Kg*0,12 = 0,63 Kg

Volumen de corriente 4 = peso de agua/ densidad de agua

= 0,65 Kg / 1000 Kg/m^3 = 0,0006 m^3

La cantidad de cemento que debe entrar por la corriente 3 es:

Peso corriente 3 = Peso mezcla * fracción de cemento = 5,24 Kg*0,10 = 0,524 Kg

Volumen de corriente 3 = peso de cemento /densidad del cemento

= 0,524/2796,15 = 0,00048 m^3

La cantidad de suelo que debe entrar por la corriente 2 es:

Peso corriente 2 = Peso mezcla * fracción de suelo = 5,24 Kg*0,29 = 1,52 Kg

Volumen de corriente 2 = masa de corriente 2 / densidad de suelo

$$= 1{,}52 \text{ Kg}/2150 \text{ Kg/m}^3 = 0{,}0009 \text{ m}^3$$

La cantidad de fosfoyeso que debe entrar por la corriente 1 es:

Peso corriente 1 = Peso mezcla * fracción de fosfoyeso = 5,24 Kg*0,49 = 2,57 Kg

Volumen de corriente 1 = masa de corriente 1 / densidad de fosfoyeso

$$= 2{,}57 \text{ Kg} / 2110 \text{ Kg/m}^3 = 0{,}0013 \text{ m}^3$$

El peso de cada componente de cada corriente se determina mediante la siguiente fórmula:

Peso componente i en j = peso de mezcla j* fracción másica de componente i en j/100

Por ejemplos:

En el caso de la cantidad de fosfoyeso en la corriente 1 es:

Fracción de fosfoyeso (base seca) = 100 – 18,4 = 81,6 %

Peso fosfoyeso en corriente 1 = 2,57 Kg*81,6/100 = 2,097 Kg

En el caso de la cantidad de suelo en la corriente 2 es:

Fracción de suelo (base seca) = 100 – 9,29 = 90,71 %

Peso suelo en corriente 2 = 1,52 Kg*0,9071/100 = 1,38 Kg

En el caso del cemento en la corriente 3 es:

Peso cemento en corriente 3 = 0,524 Kg*1/100 = 0,524 Kg

Agua en corriente 1 = 2,57*18,4/100 = 0,473 Kg

Agua en corriente 2 = 1,52*9,29/100 = 0,141 Kg

Agua en corriente 3 = 0,524*0,3/100 = 0,002 Kg

Agua en corriente 4 = 0,63*100/100 = 0,63 Kg

Agua en corriente 8 = agua en corriente 1 + agua en corriente 2 + agua en corriente 3 + agua en corriente 4 = (0,473+0,141+0,002+0,63) Kg = 1,245 Kg

% Agua en corriente 8 = masa agua corriente*100/masa corriente 8

=1,245*100/5,24 = 23,74 Kg

Según la ley de la conservación de la masa, masa que entre = masa que sale. Por lo tanto;

La corrientes 1 es igual a la corriente 5

La corrientes 2 es igual a la corriente 6

La corrientes 3 es igual a la corriente 7

El residuo (corriente 11), se estimó con el % de residuos experimental:

Peso de residuos de prensado = 5,24*0,497/100 = 0,03 Kg

Se estiman las pérdidas con la diferencia de peso entre el peso total de la mezcla y el residuo y el bloque húmedo:

Peso de pérdidas = 5,24 – 5,18-0,03 = 0,04 Kg

Con la tasa de evaporación se calcula la masa de la corriente 14 y el peso del bloque seco:

Masa de agua en corriente 14= peso bloque húmedo*% evaporación/100

=5,18*13,48/100= 0,698 Kg

Se toma el volumen y la humedad del bloque calculado en el apéndice B:

Volumen de bloque = 0,0028 m^3

% agua en bloque (corriente 13) = 11,78, por lo tanto:

Peso de agua en corriente 13 = 4,48*11,78/100 = 0,528 Kg

Apéndice D. Cálculos de equipos

Apéndice D-1. Dimensionamiento de alimentador

Para la selección de los elementos básicos de la cinta transportadora se utilizó la norma PDVSA MDP-11-MT-02.

El ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga se seleccionó utilizando la figura F-5, considerando los materiales a transportar, como comunes del tipo de minerales de minería. Los ángulos correspondientes son: 25° de sobrecarga y de 35° a 39° de reposo. Seleccionando un promedio sobre el rango de ángulo de reposo, finalmente este será de 37°.

- **Cálculo de capacidad de la cinta**

Se convirtieron las unidades de densidad de los materiales a unidades del sistema inglés:

$$\text{Densidad fosfoyeso} = 2110\ \text{Kg/m}^3 * 0{,}06242 = 131{,}72\ \text{lb/pie}^3$$

$$\text{Densidad suelo} = 2150\ \text{Kg/m}^3 * 0{,}06242 = 134{,}22\ \text{lb/pie}^3$$

$$\text{Densidad cemento} = 2796{,}15\ \text{Kg/m}^3 * 0{,}06242 = 174{,}55\ \text{lb/pie}^3$$

De la tabla G-2 (ver apéndice G), se seleccionó la correa más pequeña (14 pulg), tomando en consideración la densidad más alta, por ser la más cercana a la de los materiales a alimentar (150 lb/pie^3**)**, y la menor capacidad (40 ton/h), encontrándose: Ancho de la correa de14 pulg y sección transversal de 0,09 pie^2.

Siendo la producción 1 bloque por lote:

5,24 kg mezcla = 0,00524 ton mezcla requerida por bloque (ver tabla 4.7.)

Capacidad correa = 40ton/h/8h = 5 ton/día

Para 5 ton/día se producirían: ton*1 bloque/0,00524 =954,2 bloques/día

Sin embargo, por ser una planta piloto se requiere baja producción y considerando los tamaños de correa existentes en el mercado, se redujeron estos datos a la mitad:

Ancho de la correa = 7 pulg

Sección transversal = 0,09 pie^2

Considerando que los materiales en gran proporción son finos y que serán alimentados por esta correa desde una tolva, la velocidad correspondiente es la última indicada en la tabla G-3 (entre 50 a 100 pie/min), sin embargo, de acuerdo a la tabla G-1, debe ser menor a 50 pie/min. En este sentido se seleccionó:

Velocidad de la correa = 50 pie/min/4 = 12,5 pie/min

Utilizando la ecuación A.14, se estimó:

TPH = (0,045pie^2*144*174,55 lb/pie^3 *12,5 pie/min)/ 4800 = 2,846

Capacidad de transporte = 2,846 ton/h*1000 Kg/60 min = 49,094 Kg/min

- **Cálculo de potencia de la cinta transportadora**

Utilizando la ecuación A.15:

Distancia libre de borde = C= 0,055* 7+0,9 = 1,285 pulg

En la tabla se lee el factor de temperatura: Kt=1

Del catalago de Good year se tomó un promedio de peso de correa: 1,18 libras por pie de correa.

Según norma PDVSA MDP-11-MT-01 (ver tabla G-1):

Angulo de elevación = 0

Se seleccionó el mayor peso de material a cargar (ver tabla 4,7):

Peso de material (fosfoyeso) = 2,57 Kg *0,00224 Lb/Kg = 0,0057 lb

Longitud de la correa = 0,7 cm*3,28pie/cm = 2,29 pie

Factor de longitud equivalente = 150 pie (ver tabla G-4)

Factor de fricción compuesto = 0,03 (ver tabla G-4)

Factor de peso de las partes movibles de la correa = 19 (ver tabla G-5)

Utilizando la ecuación A.20:

Te = 0,03*(2,297+150)*(19+100*2,946/3*12,5) ±100*2,946*0/3*12,5

= 122,7 lb de tensión

Utilizando la ecuación A.20:

Potencia por tención = 122,7*12,5/33000 = 0,047 Hp

Utilizando la ecuación A.16, se calculó el factor de resistencia de los rodillos libres:

Kx=0,00068 (1,184+0,0057)+0,047/12,5 = 0,0045 lb por pie de correa

Factor de resistencia para mover la correa y la carga = 0,031 (según norma MDP–11–MT–02)

Luego, mediante la ecuación A.16, la potencia para mover el sist transportador:

2,297pies*1(0,0045+0,031*1,184+0,015*1,184)+0,031*2,297*0,0057*+0*0,0057*12,5/ 33000 = P = 0,136 Hp.

Potencia a instalar = 0,5 Hp

- **Selección de rodillo tensor y correa**

Seleccionando un Tipo de impulsor simple, tensor de tornillo, rodillo tractor cubierto, de la tabla G-7, se tomó el Factor envolvente (“wrap factor”).

CW = 0,8

La tensión del lado suelto (“Slack side tension”) = Te*CW = 0,8*122,7 = 98,16 lb

La Máxima tensión de arranque = Te*1,5 = 122,7*1,5 = 184,047 lb/pulg

El diámetro mínimo de rodillo tractor: 16 pulgadas. Obtenido mediante interpolación entre los valores de tabla G-6, considerando 239,42 pie de tensión máxima y entre 40-60 % de tensión.

El diámetro de los rodillos libre será de 4 a 6 pulgadas. De acuerdo a tabla G-8.

Se seleccionó una Tipo de correa convencional con combinación de material rayon - nylon, según recomendación de Norma PDVSA MDP-11-MT-02. La tensión que pueden soportar estas correas está en el orden de las 140 – 150 libras por pulgada de ancho ("pound per inch of belt width = piw") para las combinaciones algodón–nylon y de hasta 1500 piw para combinaciones rayon–nylon.

- **Dimensionamiento de caja de alimentación**

De acuerdo a recomendaciones de la norma PDVSA MDP-11-MS-01:

Ancho máximo de boca de descarga = 70% ancho de la correa y,

Ancho mínimo de boca de descarga = 5 * el tamaño máximo de las alimentación,

Lmax1= 7 in*0,0254 m/in*0,7=0,1245 m

Lmin1= 5*0,425 = 0,0021

Utilizando la ecuación A.10, se calculó un promedio entre estos dos valores resultando:

L1=0,95 m

Para una mayor comprensión de las dimensiones acotadas, en la figura figura F-6, del apéndice F, se presenta un esquema de la tolva.

Volumen máximo de carga =Vmax =0,0026 (para el fosfoveso, ver tabla 4.7)

Ancho de la sección superior = 1,3* ancho de la boca, de esta manera:

Ancho sección superior = 1,3 *0,95 = 0,123

L2=h2 = 0,123 m

Volumen sección superior = L2*L2*h2=$0,123^3$=0,0019 m

Altura sección inferior = 60% Altura sección superior

=h1 =0,6*0,123 = 0,174 m

Área boca superior =A2= $L2^2$ =$0,123^2$= 0,015 m

Área boca superior = A1=$L1^2$ =$0,095^2$= 0,009 m

Volumen de la sección inferior = h1/3*(A1+A2+$\sqrt{\mathbf{A1 * A2}}$)

V1=0,0741/3*(0,009+0,015+$\sqrt{\mathbf{0,009 * 0,015}}$ =0,0009 m^3

Volumen total =Vt = V1+V2=0,0028

Vt > Vmax, por lo tanto, las dimensiones seleccionadas son correctas

Altura de la sección inferir = h = $\sqrt{\mathbf{(h1 * h1) - (L2 - L1) * (L2 - L1)/2 *}}$

Sustituyendo: h=0,073 m

Altura de la tolva = h2+h = 0,1961

Capacidad de almacenamiento = Vt*Densidad =0,0028* 2976,15 = 7,74 Kg

Apéndice D-2. Dimensionamiento de mezclador

- Cálculo de dimensiones del mezclador

El recipiente aun cargado, debe disponer de un volumen libre de aproximadamente 45% por lo tanto:

Volumen necesario de recipiente = (Volumen del agitador +Volumen de carga)/0,45

Volumen de carga: 0,00659 m^3, (extraído de balance, tabla 4.7)

$$Vr = (Va+0,00659)/0,45 \qquad D\text{-}1$$

Aplicando las ecuaciones A.21 y A.22:

Va =Π* Diámetro eje * Diámetro eje *longitud recipiente/4

Tomando un diámetro de eje comercial:

$$D1=2 \text{ in} = 0,0508 \text{ m}$$

$$Va= 3,141592*0,508^2* L/4 \qquad D\text{-}2$$

Por otro lado, Volumen del recipiente = $V = \Pi* D2^2 *L/4$

Como la alimentación se realizará por un extremo, el diámetro se seleccionó con un 10% superior al ancho de la correa, esto es:

$$D2 = 17,78*1,1cm=19,56 \text{ cm} = 0,196 \text{ m}$$

Sustituyendo,

$$V = 3,141592*0,196* L/4 \qquad D\text{-}3$$

Sabiendo que,

$$Vr \leq V \qquad D\text{-}4$$

Se resolvió ubicó un valor de L, que sustituido en las ecuaciones D-1, D-2 y D-3, satisficiera la expresión D-4. El valor encontrado fue:

$$L = 0,575 \text{ m} = 1,89 \text{ ft}$$

Para lo cual: $Vr= 0,0173 \text{ m}^3$, $V= 0,0173$ y $Va = 0,0011 \text{ m}^3$

Considerando un mezclador de diámetro de hélice estándar, hélice con paletas cortas y dobladas y el máximo de maletas para garantizar el mezclado, se determinó en tablas los siguientes factores:

Factor especial de capacidad por el tipo de paso= CF1 = 1 (ver tabla G-9)

Factor especial de capacidad por el tipo de hélice = CF2 = 2,54 (ver tabla G-10)

Factor especial de capacidad por paletas mezcladoras = CF3 = 1,32 (ver tabla G-11)

La capacidad equivalente se determinó mediante la ecuación A.43, como sigue:

$$Ceq= 0,017*1*2,54*1,323 = 0,02\ m^3$$

- **Potencia del mezclador**

Considerando el menor diámetro del eje en la tabla G-12, y rodamiento de superficie dura en la tabla G-13, se tiene:

Factor de diámetro del equipo = Fd = 12

Factor de rodamiento = Fb = 4,4

Sustituyendo en la ecuación A.23, se encuentra la potencia para mover el eje de un mezclador:

$$HPf = 1,89\ ft*140rpm*12*4,4/1000000 = 0,014\ Hp$$

Mediante los ensayos, se determinó: Velocidad angular = 140 rpm y tiempo de mezclado de 2 min.

La capacidad se expresó en función del tiempo como sigue:

C = Volumen de carga * 60/tiempo mezclado (min)

$$C= 0,006860/2 = 0,198\ m^3/h = 6,981\ ft^3/h$$

Considerando un 45% de carga, tipo de paletas cordas e inclinadas, y cuatro paletas por paso, se determinó:

Factor de carga = Ff = 1,70

Factor de material = Fp = 1,40

Factor por número de paletas por paso = Fo = 2,16

Sustituyendo en la ecuación A.24, se encuentra la potencia para mover el material:

HPm=6,981 ft^3/h*1,886ft*49,67 lb/ft^3*1,7*1,4*2,16/1000000 = 0,0033 Hp

Siendo HPf + HPm = 0, 017, en la figura F-7, el Fo ≈ 3

En la tabla G-16, se tomó un factor de eficiencia de 0,95.

Sustituyendo los valores respectivos en la ecuación A.44,

HT = (0,013+0,003)*3/0,95 =0,054 Hp

Potencia a instalar = 0,5 Hp

- **Dimensionamiento de las paletas**

Para mayor comprensión de las medidas señaladas, ver figura F-8. Siendo cuatro el número de paletas:

Ancho de paletas: L/4 = 0,575/4 = 0,144 m

Largo de las paletas: L/4 = 0,575/4 = 0,144 m

Y que el fluido ocupará el 65% del recipiente:

Altura de las paletas: D2*0,65 = 0,13

Apéndice D-3. Dimensionamiento de elevador de cangilón

Los cálculos se realizaron siguiendo la norma PDVSA MDP-11-MT-03.

El volumen útil del cangilón = volumen de carga cangilón = 0,0066 m^3 =0,23 pie^3

Se seleccionó una velocidad de ascensión de: 0,4 m/s = 78,74 pie/min del catálogo del proveedor CICSA (Ver figura F-9)

Para que las operaciones sean de manera ergonómica, se seleccionó una altura de elevación de 1,5 m y distancia entre equipos de 1 m.

Aplicando el teorema de Pitágoras:

$$\text{Longitud de recorrido} = \sqrt{1{,}5^2 + 1^2} = 1{,}8 \text{ m} = 5{,}91 \text{ft}$$

Se seleccionó un cangilón al 75% de su capacidad. Por lo tanto:

$$\text{Capacidad cangilón} = 100*V/75 = 100*0{,}0066/75 = 0{,}0088 \text{ m}^3$$

De acuerdo a la ecuación A.27, la capacidad del elevador es:

$$T = (0{,}23\text{pie}^3*49{,}67*78{,}74 \text{ pie/min})/(6400*5{,}91\text{ft}) = 0{,}02 \text{ Ton/h}$$

El ancho del cangilón se seleccionó con la misma dimensión que el ancho del bloque:

$$\text{Ancho} = \text{Altura} = 0{,}39 \text{ m}$$

Considerando el cangilón de rectangular:

$$\text{Volumen} = 0{,}39*0{,}39* \text{ largo cangilón}$$

Sustituyendo el volumen:

$$\text{Largo cangilón} = 0{,}0581 \text{ m}$$

Del catálogo del proveedor CICSA, se seleccionó un cangilón de 5 Kg peso y cadena de 2 Kg por metro de la cadena.

Aplicando la ecuación A.45:

Tensión del "lado tenso": $(2\text{Kg/m}+5\text{Kg/m}+0{,}0066\text{m}^3*795{,}76\text{Kg/m}^3)*0{,}3\text{m} = 3{,}67\text{Kgf}$

Aplicando la ecuación A.46:

Tensión del “lado suelto”: (2Kg/m+5Kg/m)*0,3m= 2,58 Kgf

Aplicando la ecuación A.47:

$$\text{Potencia} = 0{,}3 * 0{,}02 t/h/500 = 4{,}7 \times 10^{5} \text{ Hp}$$

Potencia a instalar=0,5 Hp

Apéndice D-4. Dimensionamiento de prensa hidráulica

- **Dimensionamiento de moldes**

Para una mayor comprensión de las medidas señaladas, ver figura F-9.

Dado las medidas del bloque a elaborar, se tiene:

Ancho interno de caja = Ac =39 cm

Altura interna de caja = hc =38 cm

Largo interno de caja = Lc = 9 cm

Espesor de pared del bloque = Ep =1,3

Cantidad de dientes de molde extrusor = 3

Altura de diente de molde extrusor = hd = hc/2- Ep = 38/2-1,3 = 17,7 174

Ancho de diente de molde extrusor = Ad = (Ac-Ep*4)/3 = (39-1,3*4)/3 = 11,27 cm

Largo de diente de molde extrusor = ld = Lc-Ep*2 = 9-1,3*2 = 6,4 cm

Ancho de plancha de molde extrusor = Ae = Ac = 39 cm

Largo de plancha de molde extrusor = Le = Lc = 9

Peso específico de láminas de acero = wel = 7850 kg/m3

Se seleccionó un espesor de láminas de 0,5 cm; le=0,5 cm

Volumen aprox. laminas caja = vc = (Ac+el)*(hc+el)*2*el +(Lc+el)*(hc+el)*2*el+ (Lc*5*el) = 1909 cm^3

Peso aprox. de caja = wc = (wel/1000000)*vc = 14,99 Kg

Volumen aprox. molde extrusor = ve = (Le*Ae*el)+(Ad*hd*el*2*3)+(ld*hd*el*2*3)+(Ad*ld*el*3) = 1221,76 cm^3

Peso aprox. de molde extrusor = we = wel*ve/1000000 = 9,59 Kg

- **Dimensionamiento de tolva**

Considerando: ancho máximo de boca de descarga = 70% ancho de la recipiente a alimentar,

Largo de boca de descarga =bc1 = 0,7* Ac = 0,7*39 cm =27,30cm

Largo de sección superior =bc2 = Lado boca descarga elevador * 1,5 =7,02 cm

Ancho boca superior = bs2 =Ancho del cangilón*1,5 =58,5 cm

Capacidad de la tolva = Capacidad del elevador = 0,0088 m^3 = 8840,39 cm^3

Volumen de tolva = vc*1,5 cm^3 = 8840,39*1,5 = 13260,58

Ares de boca de descarga = A1=191,65 cm^3

Área boca superior = A2 = bs1*bs2 = 510,02 cm^2

Altura de la tolva = ht = 3*vt/(A1+A2+$\sqrt{A1 * A2}$)

=3*13260,589/(191,65+510,02+$\sqrt{191,65 + 510,02}$ =39,22

Capacidad de almacenamiento = C = Vt* Densidad mezcla

$= 0{,}01 m^3 * 795{,}76 \ Kg/m^3$

- **Cálculo de cilindros hidráulicos**

De acuerdo a los ensayos, la presión aplicada en briquetas de prueba:

$P = 50 \ psi = 3{,}52 \ kg/cm^2$

Por otra parte, el área de cada hueco de bloque:

Ah = Largo de cada hueco * Ancho de cada hueco = $11{,}27 * 6{,}4 = 72{,}11 \ cm^2$

Conocidos las dimensiones del bloque:

Área de compresión = AC= Ac*Lc-Ah*3 = $39*9-72{,}11*3=134{,}68 \ cm^2$

La presión ejercida en la cara sería;

$P=50*134{,}68/25 = 269{,}36 \ psi = 18{,}94 \ kg/cm^2 = 269{,}36 \ psi$

Fuerza de compresión = Fc = 18,94*134,68 = 2550,56 Kgf

- **Cálculos del cilindro de compactación**

Para el cilindro de compactación se realizaron los siguientes cálculos:

Considerando el peso de la mezcla:

Wm = 5,24 Kg

Considerando el coeficiente de roce de suelos y arena = 0,4, se calculó la fuerza de roce mediante la ecuación A.27:

Froce = 2*0,4*(5,24+9,59) = 11,87 Kg

La fuerza que debe vencer el cilindro para lograr el compactado del bloque es

$$Fd = F\ roce + W\ mezcla = 11,87 + 5,24$$

Sustituyendo en la ecuación A.20, y considerando 10 de seguridad, se tiene:

$$Pd = 17,11 * 1,1/134,68 = 0,14\ kg/cm^2$$

$$\text{Área del cilindro} = Fd/Pd = 17,11/0,14 = 122,4\ cm^2$$

Despejando el diámetro de la ecuación A.21:

$$Dc = \sqrt{4 * 122,4/3,141592} = 12,49\ cm$$

Seleccionando en catálogo de fabricante un diámetro nominal, cercano al calculado:

$$d1 = 12,5\ cm = 4,92$$

Por el diámetro del cilindro y la presión de diseño, se seleccionó el modelo de cilindro hidráulico doble efecto con tirantes de baja presión, vástago simple, serie CHA de 125 mm de diámetro y presión nominal de 3,5 Mpa. Tubo de acero. Modelo CHABF125-83K, en catalago de

$$PN = 3,5\ Mpa = 35,69\ kg/cm^2$$

Se seleccionó en catálogo de fabricante, un diámetro del vástago:

$$d2 = 3,398\ cm = 1,29\ pulg$$

Con este, se calcula el área nominal del cilindro:

$$A = 122,72\ cm^2$$

Por catálogo también:

$$\text{Área efectiva de salida} = Aee = 12272/10000 = 1,23\ cm^2$$

$$\text{Area efectiva de entrada} = Aev = 11282/10000 = 1,13\ cm^2$$

Con la presión nominal se calcula la fuerza hidráulica nominal:

$$FH = 35,69 * 122,72 = 4379,85\ Kgf/cm^2$$

La longitud de compactación es:

Lc'= Altura interna de caja - Espesor de pared de bloque = 38-1,3 = 36,7 cm

Espacio mínimo libre para desmolde:

$$Lc1' = 38+0,5 = 38,5\ cm$$

Longitud mínima de carrera:

$$Lmc = Lc' + Lc1' = 82,72 \text{ cm}$$

Se seleccionó una longitud de carrera de amortiguación (Lca) de 2 cm, tiempo de compresión (to) de 5 seg, tiempo de retorno (ti) de 5 seg, con lo cual se calculó:

$$\text{Velocidad de salida del vastago} = v = (Lc+Lca)/to = 16,94 \text{ cm/s}$$

$$\text{Caudal necesario para una carrera salida} = Qns = Aee*v = 1,23*16,94$$

$$= 20,79 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$\text{Caudal necesario para una carrera entrada} = Qne = Aev*v = 19,12 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$\text{Rendimiento volumétrico} = nv = 0,95 \text{ (extraído de catálogo)}$$

$$\text{Máximo caudal real para una carrera} = Qns/ nv = 21,89 \text{ cm}^3/\text{seg} = 1,31 \text{ LPM}$$

Para el cilindro de desplazamiento de molde, los cálculos se realizaron de manera similar que para el cilindro de desplazamiento de compactación. Los resultados se presentan en las tablas D-1 y D-2.

Tabla D-1. Resultados de dimensionamiento de cilindro de compactación

Parámetro	Simb.	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza de roce	Froce	11,87	Kg		
Fuerza de diseño	Fd	17,11	Kg		
Presión de diseño	Pd	0,14	Kgf/cm^2		
Área del cilindro	Acil	122,44	cm^2		
Diámetro del cilindro	dc	12,49	cm	4,74	in
Diámetro nominal	d1	12,50	cm	4,92	in
Presión nominal	PN	3,50	Mpa	35,69	Kgf/cm^2
Diámetro del vástago	d2	3,398	cm	1,29	pulg
Área nominal del cilindro	A	122,72	cm^2	6,34	$pulg^2$

Tabla D-1. Resultados de dimensionamiento de cilindro de compactación (continuación)

Parámetro	Simb.	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Área efectiva de salida	Aee	1,23	cm^2		
Área efectiva de entrada	Aev	1,13	cm^2		
Fuerza Hidráulica nominal	FH	4379,85	Kgf/cm^2		
Longitud de compactación	Lc'	36,70	cm		
Espacio mínimo libre para desmolde	Lc1'	38,50	cm		
Longitud mínima de carrera	Lmc	75,20	cm		
Longitud de carrera	Lc	82,72	cm		
Longitud de carrera de amortiguación	Lca	2,00	cm		
Tiempo de compresión	to	5,00	seg		
Tiempo de retorno	ti	5,00	seg		
Velocidad de salida del vástago	v	16,94	cm/seg	0,17	m/s
Caudal necesario para una carrera salida	Qns	20,79	cm^3/seg		
Caudal necesario para una carrera entrada	Qne	19,12	cm^3/seg		
Rendimiento volumétrico	nv	0,95			
Máximo caudal real para una carrera	Qr	21,89	cm^3/seg	0,02	l/s
Máximo caudal real para una carrera	Qr	1,31	LPM	0,35	GPM

Tabla D-2. Resultados de dimensionamiento de cilindro de desplazamiento de molde

Parámetro	Simb.	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza de roce	Froce	16,18	Kgf		
Fuerza de diseño	Fd	36,41	Kgf		
Área que recibe la fuerza	Am	385,00	cm^2	0,04	m^2
Presión de diseño	Pd	0,21	Kgf/cm^2	20405,11	N/m^2
	Pd	2,96	psi		
Área del cilindro	Acil	175,00	cm^2		
Diámetro del cilindro	dc	14,93	cm	5,66	in
Diámetro nominal	d1	16,00	cm	6,30	in
Área efectiva de salida	Aee	2,01	cm^2		

Tabla D-2. Resultados de dimensionamiento de cilindro de desplazamiento de molde (continuación)

Parámetro	Simb.	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Área efectiva de entrada	Aev	1,85	cm^2		
Presión nominal	PN	3,50	Mpa	35,69	Kgf/cm^2
Diámetro del vástago	d2	4,30	cm	1,63	pulg
Área del embolo	A	201,06	cm^2	10,27	m^2
Coeficiente de rozamientos de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro		0,90			
Fuerza de extensión	Fe	37,65	Kgf		
Fuerza de retracción	Fr	34,94	Kgf		
Rendimiento de cilindros hidráulicos	n	0,90			
Fuerza de compresión real	Fe'	41,84	Kgf		
Fuerza de tracción o empuje real	Fr'	38,82	Kgf	3806751,90	N/m^2
Fuerza Hidráulica nominal	FH	13740,73	Kgf		
Longitud de carrera	Lc	40,00	cm		
Longitud de amortiguación	La	2,20	cm		
Tiempo de carga		5,00	seg		
Tiempo de desplazamiento de molde	to	2,00	seg		
Tiempo de descarga del bloque		5,00	seg		
Tiempo de retorno		2,00	seg		
Velocidad de salida del vástago	v	20,00	cm/seg	0,20	m/s
Caudal necesario para carrera salida	Qn	40,21	cm^3/seg		
Caudal necesario para carrera entrada	Qn	37,03	cm^3/seg		
Rendimiento volumétrico	nv	0,95			
Máximo Caudal real para una carrera	Qr	42,33	cm^3/seg	0,04	l/s
Máximo Caudal real para una carrera	Qr	2,54	LPM	0,67	GPM

- **Cálculos de bomba, fluido hidráulico y manguera hidráulica**

Se asumió una velocidad angular de 1750 RPM, con la cual se calculó el desplazamiento volumétrico para compactación y el desplazamiento volumétrico para empuje de molde, mediante la ecuación A.33.

$$Dvc=1,31LPM*1000/1750\ rpm = 0,75\ cm^3/rev.$$

$$Dvd=2,54LPM*1000/1750\ rpm = 1,45\ cm^3/rev.$$

Considerando una eficiencia (n) de 85%, se calculó el flujo volumétrico, de la siguiente manera:

$$F = Dvd*RPM*n = 0,0022\ m^3/min$$

Se estimó la longitud de tubería hasta cilindro de compactación (L1) y la longitud de tubería hasta cilindro de desplazamiento de molde (L2):

$$L1= Lc+ Lca*2 + 50 =(82,72+2)*2+50 = 219,44\ cm$$

$$L2 = Lc+50 = 40+50 = 90\ cm$$

Para seleccionar los diámetros de las mangueras, se utilizó el nomograma de capacidad presentado en apéndice F (figura F-11), utilizando los valores de caudales calculados para compactación y para empuje de eje, obteniéndose:

Diámetro de tubería de succión = di = 7,9 mm = 3 in

Diámetro de tubería de descarga = d2 = 4,5 mm = 1,71 in

Diámetro de tubería de retorno = d3 = 4,5 mm 1,71 in

Con dichos diámetros y utilizando la ecuación A.21 se calcula la velocidad de flujo en tubería de succión (vc) y la velocidad de flujo en tubería descarga (vm).

$$vc = 4*42,33/(0,79*0,79*3,1415) = 86,36 \text{ cm/s} = 0,86 \text{ m/s}$$

$$vm = 4*42,33/(0,45*0,45*3,1415) = 266,14 \text{ cm/s} = 2,66 \text{ m/s}$$

Por otra parte, se seleccionó en catálogo un aceite hidráulico (ver tabla G-17), cuyas características son:

$$\text{Viscosidad} = Vi = 183 \text{ SUS} = 0,35$$

$$\text{Densidad} = \rho = 920 \text{ Kg/m}^3$$

Se calculó el número de Reynold en la succión (Re1) y en la descarga (Re2) mediante la ecuación A.35, como sigue:

$$Re1 = 86,36*0,79/0,35 = 195,71$$

$$Re2 = 266,14*0,45/0,35 = 343,59$$

Siendo Re<2000, el flujo es laminar en ambos casos, por lo tanto, la selección de los diámetros y el fluido hidráulico fueron aceptados.

Se calculó el coeficiente de rozamientos succión y el de descarga, mediante la ecuación A.36, obteniéndose:

$$\lambda c = 60/195,71 = 0,31$$

$$\lambda m = 60/314,59 = 0,19$$

Utilizando la ecuación A.38, se calcularon las pérdidas en presión en tubos rectos para succión (ΔPc) y para descarga y retorno de fluido (ΔPd):

$$\Delta Pc = 2672,33 \text{ N/m}^2 = 0,02725 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta Pd = 2052,39\ N/m^2 = 0,02093\ kg/cm^2$$

$$\text{Presión servicio} = Ps = PN - \Delta Pc = 35,69 - 0,02725 = 35,72\ kg/cm^2$$

Se calculó la potencia requerida para compactación (POTc) y para desplazamiento de molde (POTd), utilizando la ecuación A.34.

$$POTc = 0,06\ Hp = 0,05\ KW$$

$$POTd = 0,12\ Hp = 0,37\ KW$$

Se seleccionó un valor de potencia comercial de 0,5 Hp.

- **Cálculo de tanque de fluido hidráulico**

Se determinó el volumen de una carrera para compactación sumando el recorrido con la longitud de tubería y del cilindro de compactación más la tubería de succión, y utilizando la ecuación A.21.

$$V1 = 3,1415*0,79^2*219,44/4 + 3,1415*12,5^2(82,72+2)/4 = 10501,247\ cm^3 = 0,011\ m^3$$

De la misma manera, se calculó el volumen de una carrera para desplazamiento de molde:

$$V2 = V1 = 3,1415*0,45^2*90/4 + 3,1415*16^2(40+2,2)/4 = 8499,13\ cm^3 = 0,008\ m^3$$

Considerando la operación que requiere mayor volumen, y un factor de seguridad de 200%, se estimó la capacidad nominal del recipiente:

$$Vr = 10501,247 * 3 = 31512,8\ cm^3 = 0,0315\ m^3$$

Considerando que el fluido ocupe solo el 80% del volumen del tanque:

$$\text{Capacidad de llenado} = Vll = 31512{,}8 * 0{,}8 = 25210{,}24\ cm^3 = 0{,}0052\ m^3$$

Se seleccionó un tanque cilíndrico de 40 cm de diámetro, despejando la altura de la ecuación A.21;

$$h = 25210{,}24*4/(3{,}1415*40^2) = 25{,}08\ cm$$

Apéndice D-5. Dimensionamiento de tubería perforada

El tramo de tubería perforada será igual al diámetro del mezclador.

$$Lt = 0{,}196\ m = 19{,}6\ cm$$

Se seleccionó una cantidad de 10 orificios y distancia libre de huecos en los extremos de 4 cm, por lo tanto, la tubería longitud de tubería real con orificios es:

$$Lt' = 19{,}6 - 4*2 = 11{,}56\ cm$$

Para mantener en la suma de los orificios, el área de descarga que para un diámetro de ½":

$$\text{Área tubería} = 3{,}141592*0{,}0127^2/4 = 0{,}00013\ m^2$$

Distribuyendo el área entre los 10 orificios y calculando el diámetro de los mismos:

$$\text{Área orificios} = 0{,}00013/10 = 0{,}0013\ m^2$$

$$\text{Diámetro orificios} = 0{,}0040\ m = 0{,}15\ in$$

Apéndice E. Cálculos para estimación de costos asociados a la implantación del proceso para el acondicionamiento del fosfoyeso

- **Estimación en costos de ingeniería**

Para estimar los costos por horas hombre de ingeniería, se extrajeron de la figura F-11 (ver apéndice F) los valores de los salarios por cada especialista, luego se dividieron entre la carga de hora de horas mensuales (40 horas), así por ejemplo:

Para un especialista P3 (6 a 7 años de experiencia);

Salario = 20.540 Bsf

Costo H/H = 20.540/40 = 514 Bsf

Para este especialista se estimaron 200 horas, por lo tanto, para el proyecto:

Total costo H/H por especialista P3 = 514 * 200 = 102700 Bsf

Por último se sumaron los costos por todos los especialistas y se adiciono un 15 % que representa gastos administrativos.

- **Estimación en costos de procura**

Se multiplicaron los precios de cada equipo o material (obtenidos de diferentes proveedores) por la cantidad requerida, de diferentes proveedores. Se obtuvo una suma de costo por procura de:

Total materiales y equipos = 511.871,18

Se estimó un adicional de 10% en misceláneos;

Costos por misceláneos = 511.871,18*10/100 = 51.187,12 Bsf.

Total compras materiales y equipos + misceláneos = 511.871,18 + 51.187,12 = 563.058,29 Bsf.

Se estimó un adicional de 20% para gastos administrativos;

Gastos administrativos (20%) = 563.058,29 *0,2 = 112.611,66 Bsf.

Total costos procura = 563.058,29 + 112.611,66 = 675.669,96 Bsf

- **Estimación en costos por instalación**

Se calcularon estableciendo un porcentaje de los costos de procura, de la siguiente manera:

Costo de instalación de estructuras metálicas = 25% de costo de procura de estructuras metálicas

Costos de instalación de equipos = 25% de costo de procura de equipos

Costos de instalación de tuberías y accesorios = 25 % costos de procura de tuberías y accesorios.

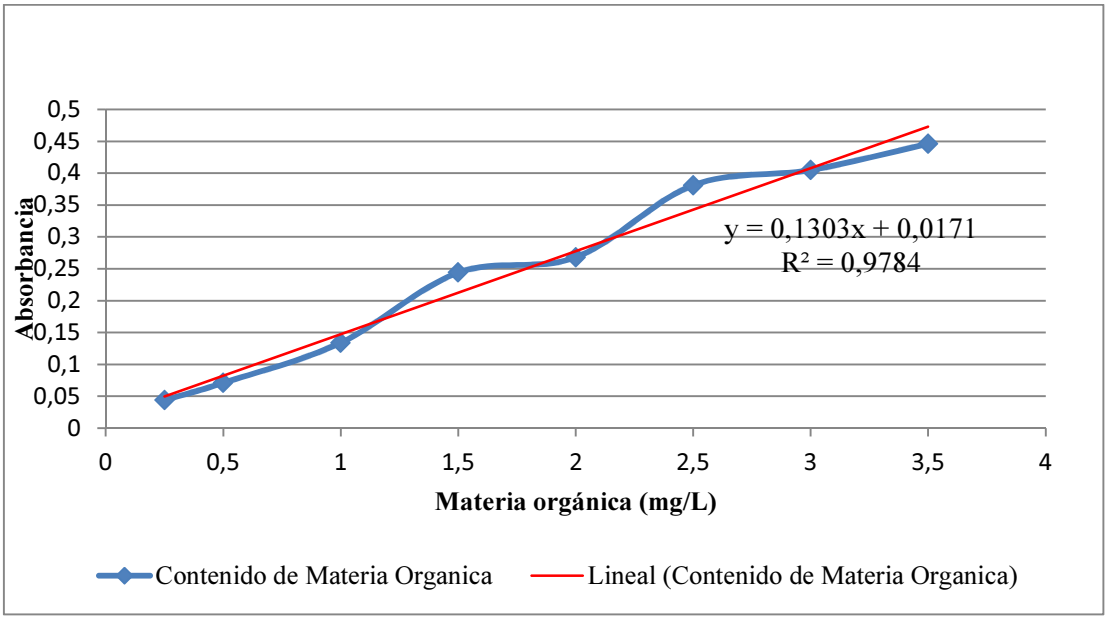
Al total de costos por instalación, se le adicionó un 15% por gastos administrativos.

Apendice F. Gráficos y figuras utilizadas

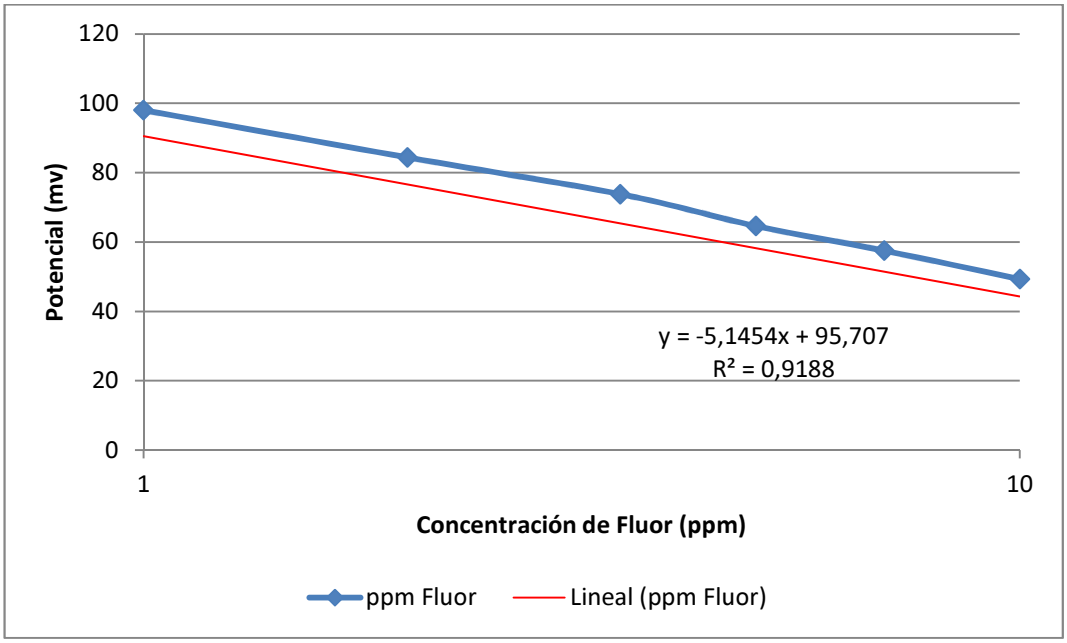
En esta seccion se presentan los graficos y figuras utilizados para los cálculos presentados en los apendices B, C , D y E.

Apéndice F-1. Graficos de datos experimentales para determinación de parámetros fisicoquimicos

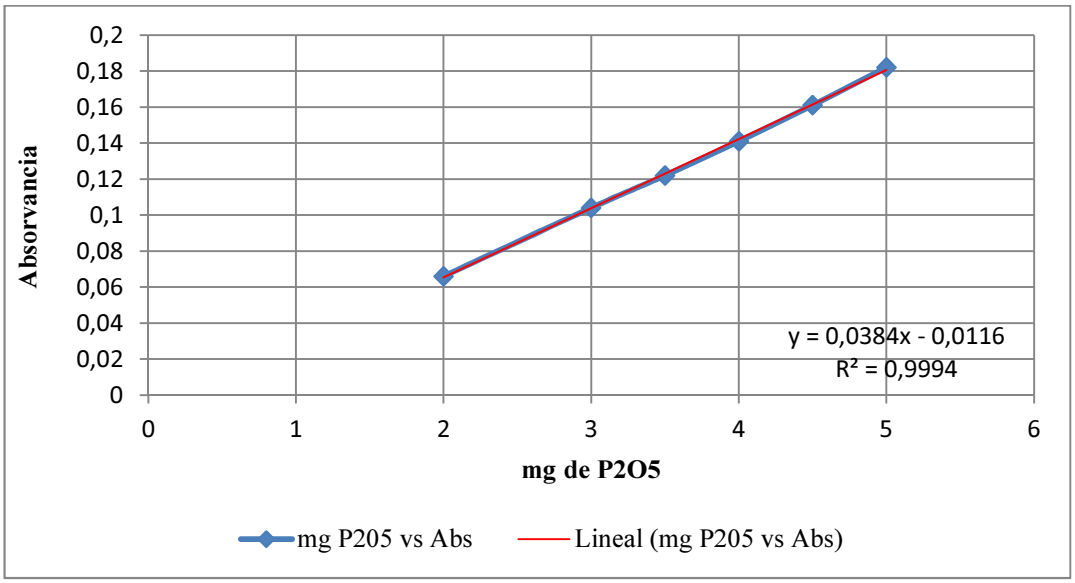
Gráfica F-1. Curva de calibración para determinación de materia orgánica



Gráfica F-2. Curva de calibración para determinación de flúor



Gráfica F-3. Curva de calibración para determinación de pentoxido de fosforo



Apendice F-2. Esquema de Bloque

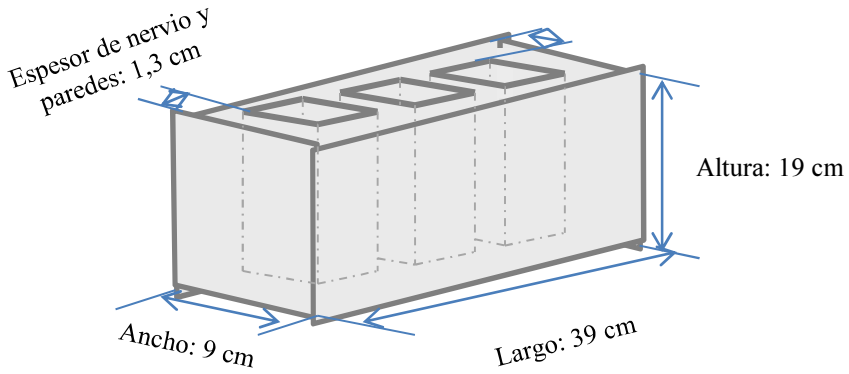


Figura F-1. Esquema de bloque según CONVENIN 42-82

Apendice F-3. Figuras de referencia para equipos

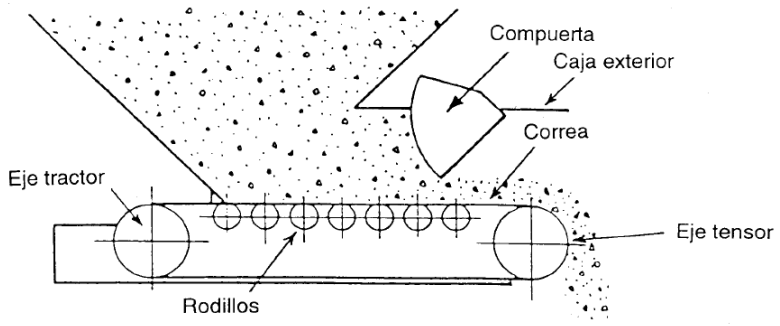
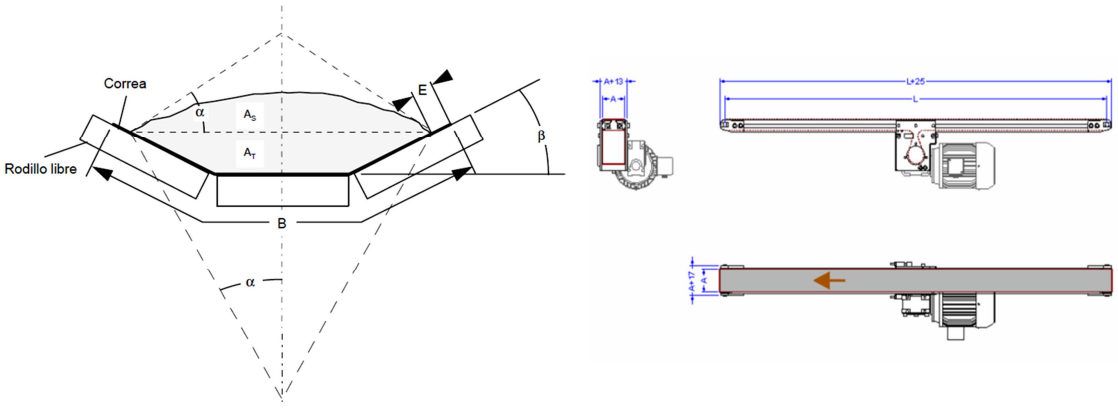


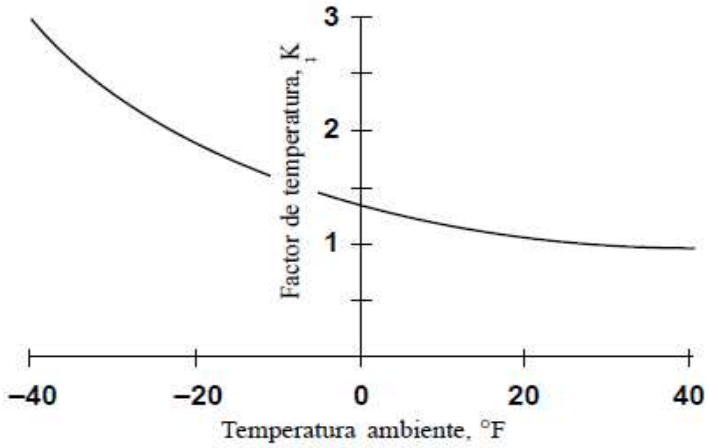
Figura F-2. Esquema de alimentador de correa (belt feeder)

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)



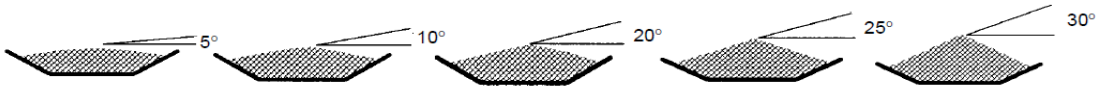
Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Figura F-3. Esquema de cinta transportadora



Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Figura F-4. Variación del factor de temperatura Kt con la temperatura

Alta fluencia 5° de ángulo de sobrecarga	Buena fluencia 10° de ángulo de sobrecarga	Fluencia promedio 20° de ángulo de sobrecarga	 25° de ángulo de sobrecarga	Baja fluencia 30° de ángulo de sobrecarga
				
0–19° de ángulo de reposo	20–29° de ángulo de reposo	30–34° de ángulo de repso	35–39° de ángulo de reposo	Más de 40° de ángulo de reposo
Características del material				
Tamaño uniforme, pequeño, part. redondeadas, muy húmedo o muy seco.	Partículas redondeadas, pulidas, de densidad media	Irregular, granular o en trozos, densidad media	Materiales comunes, del tipo de los minerales de minería	Irregulares, fibrosos, adhesivos

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997).

Figura F-5. Relaciones entre fluencia, ángulo de sobrecarga y ángulo de reposo

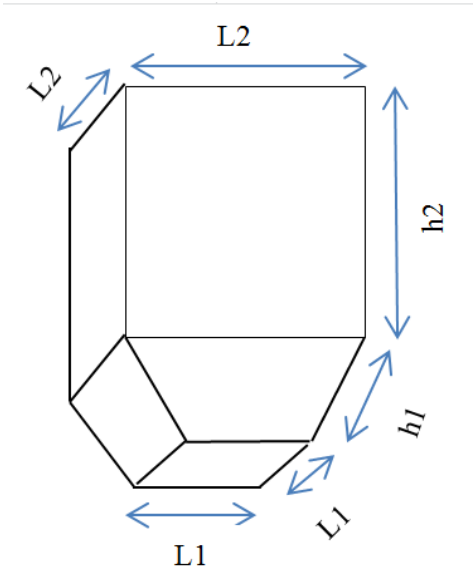
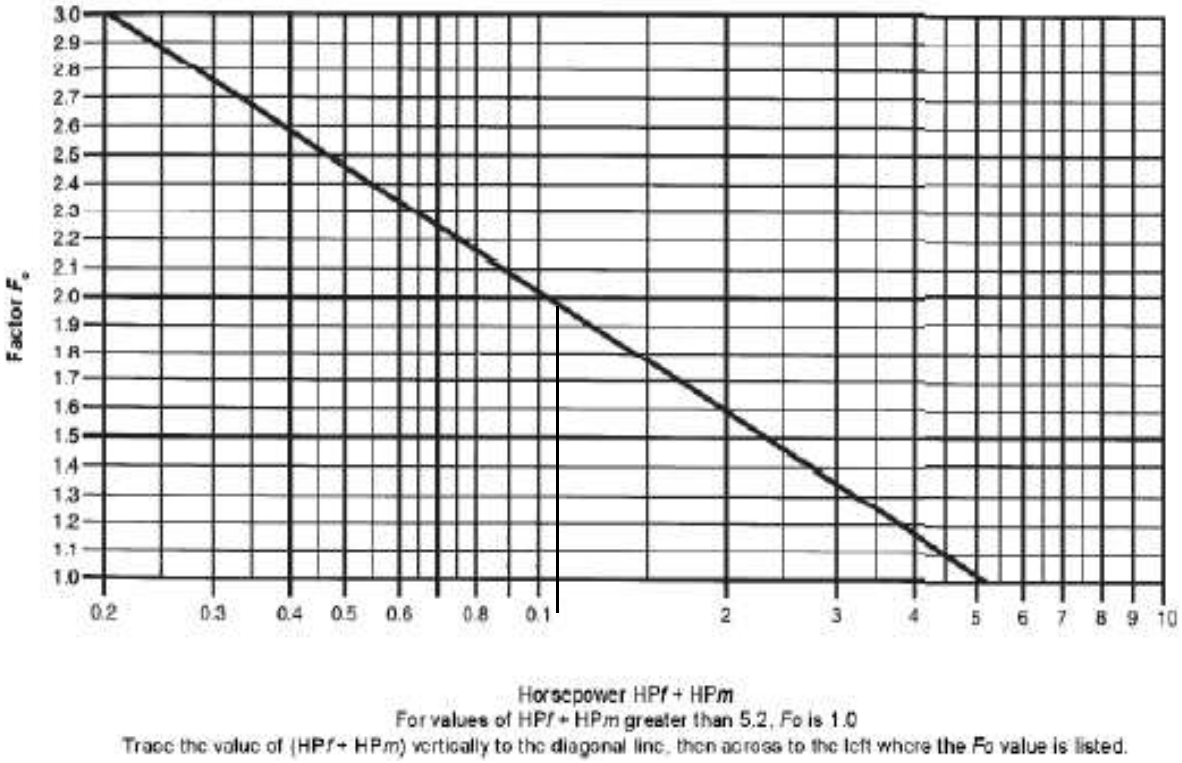


Figura F-6. Dimensionamiento de caja de alimentación



Fuente: Quiroga R, (2010).

Figura F-7. Factor de sobrecarga

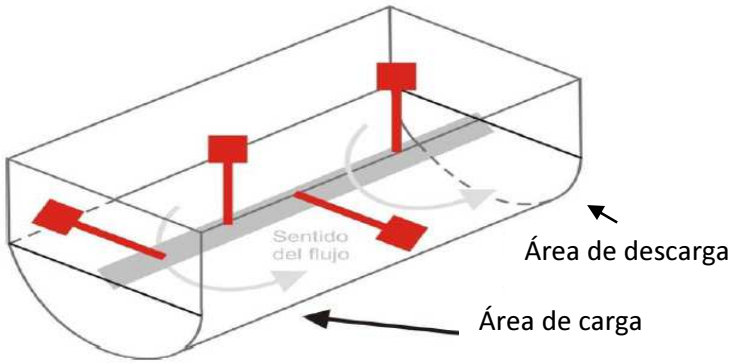


Figura F-8. Esquema de mezclador

CICSA
www.cicsa.it
cicsa@cicsa.it
via dell'Industria, 2 - 23883 Beverate di Brivio - LC (IT)
tel. +39.039.5320739 - 5320979
fax +39.039.5320024

Calcoli preliminari di dimensionamento elevatori a tazza

Per il dimensionamento preliminare di un elevatore a tazze a catena sono necessari i seguenti dati:

Sizing of bucket elevators

The preliminary sizing of a bucket elevator can be done with the following data:

Cálculos preliminares de proyecto para elevadores de cangilones

Para los cálculos preliminares de proyecto para un elevador de cangilones con cadena de eslabones son necesarios los datos siguentes:

portata	*handling rate*	caudal	(m^3/h)	**Q**
capacità tazze	*bucket capacity*	capacidad cangilón	(m^3)	**Vb**
passo tazze	*bucket distance*	distancia entre cangilones	(m)	**Lb**
velocità di salita	*elevator lifting speed*	velocidad de ascensión	(m/s)	**v**
coeff. di riempimento tazze	*bucket filled fraction*	coeficiente de llenado cangilones	(ex. 0.6-0.8)	**Cr**

Valori orientativi della velocità di salita della macchina sono i seguenti:

Indicative values of the elevator lifting speed are the following:

Los siguientes son valores orientativos de la velocidad de ascensión de la máquina:

Tipologia macchina	*Machine type*	Tipo máquina	velocità - speed - velocidad **(m/s)**
macchina lenta a scarico centrale	*Low speed elevator with central discharge*	máquina lenta con descarga central	0.4÷0.5
macchina veloce (a scarico centrifugo) a ruote lisce	*High speed elevator (peripheral discharge) with smooth wheels*	máquina veloz (descarga centrífuga) de ruedas lisas	1.0÷1.2
macchina veloce (a scarico centrifugo) a ruote dentate	*High speed elevator (peripheral discharge) with toothed wheels*	máquina veloz (descarga centrífuga) de ruedas dentadas	1.2÷1.4

La portata della macchina può essere verificata tramite:

The machine handling rate can be verified by the following relation:

Se puede averiguar el caudal de la máquina por medio de:

$$Q = \frac{V_b \times v \times C_r}{L_b} \times 3600 \quad [m^3/h]$$

La forza applicata su ogni catena Fw dovuta al peso dell'equipaggiamento e del materiale trasportato si trova tramite:

The force Fw applied on each chain due to the weight of the equipment and the weight of the transported material can be found with:

La fuerza aplicada en cada cadena Fw debida al peso del equipo y del material transportado se calcula como sigue:

densità materiale	*material density*	densidad del material	(kg/m^3)	**dm**
interasse macchina	*shaft centres distance*	distancia entre ejes	(m)	**h**
peso proprio di una tazza completa di attacchi	*total weight of a bucket with attachments*	peso propio de un cangilón completo de enganches	(kg)	**Wt**
peso al metro della catena (utilizzato sulle macchine a ruote lisce)	*chain weight per meter (used on smooth-wheel elevators)*	peso por metro de la cadena (empleada en las máquinas de ruedas lisas)	(kg/m)	**Wc**

$$F_w = \left(\frac{V_b \times d_m \times C_r \times h}{L_b} + \frac{W_t \times h}{L_b} \right) \times 1/2 \times 9.81 \quad [N]$$

La forza applicata su ogni catena Fd dovuta a sforzi di dragaggio richiede una valutazione caso per caso e dipende tra l'altro dalla velocità della macchina e dal tipo di materiale trasportato. In prima approssimazione può essere valutata tramite un coefficiente di sforzo di dragaggio Cd prossimo a 6-7 per ghiaia o sabbia e 11-12 per carbone o materiale ad alta compattazione, da cui:

The force Fd applied on each chain due to dragging forces requires a case-by-case evaluation, which depends among others on the machine speed and the type of transported material. With a rough approximation it can be evaluated by a drag coefficient Cd close to 6-7 for gravel or sand and 11-12 for coal or high compactness materials; the resulting relation is:

La fuerza aplicada en cada cadena Fd debida a esfuerzos de dragado necesita una evaluación caso por caso y además depende de la velocidad de la máquina y del tipo de material transportado. En primera aproximación se puede calcular a través de un coeficiente de esfuerzo de dragado Cd próximo a 6-7 para grava o arena y 11-12 para carbón o material de elevada densidad, según:

$$F_d = C_r \times Q/3600 \times d_m \times 9.81 \quad [N]$$

La forza applicata su ogni catena Ff dovuta ad attriti si può valutare in relazione alla forza Fw tramite un coefficiente di attrito Cf compreso tra 0.04 e 0.07:

The force Ff applied on each chain due to friction can be evaluated by the force Fw with a friction coefficient Cf generally in the range 0.04 - 0.07:

La fuerza aplicada en cada cadena Ff debida a fricción se puede evaluar en relación a la fuerza Fw por medio de un coeficiente de fricción Cf comprendido entre 0.04 y 0.07:

$$F_f = C_f \times F_w \quad [N]$$

Infine, sulla catena è applicata una forza di precarico dovuta al peso del gruppo di rinvio ed al precarico di tensionamento (utilizzato sulle macchine a ruote lisce):

Finally, the chain is loaded by the weight of the return wheels and the tensioning pre-charge (used on smooth-wheels elevators):

Finalmente, en la cadena se aplica una fuerza de pre-carga debida al peso del grupo de reenvío y a la pre-carga de tensión (empleada en las máquinas de ruedas lisas):

peso totale gruppo rinvio e precarico	*total return wheels and tensioning weight*	peso total grupo reenvío y pre-carga	(kg)	**Wp**

La forza totale applicata su ogni catena durante il normale funzionamento della macchina è quindi pari a:

The total force Ft applied on each chain during normal operation of the elevator is then equal to:

La fuerza total aplicada en cada cadena durante el normal funcionamento de la máquina es igual a :

$$F_t = F_w + F_d + F_f + W_{p/4} \times 9.81 \quad [N]$$

La catena deve avere un carico minimo di rottura pari a **Ft**×K con K= coefficiente di sicurezza generalmente pari a 8÷10.

The chain minimum breaking force must be equal to Ft×K with K= safety factor which is generally in the range 8÷10.

La carga mínima de rotura de la cadena debe ser igual a **Ft**×K con K= coeficiente de seguridad generalmente comprendido entre 8÷10.

Figura F-8. Catálogo CICSA para elevadores de cangilón

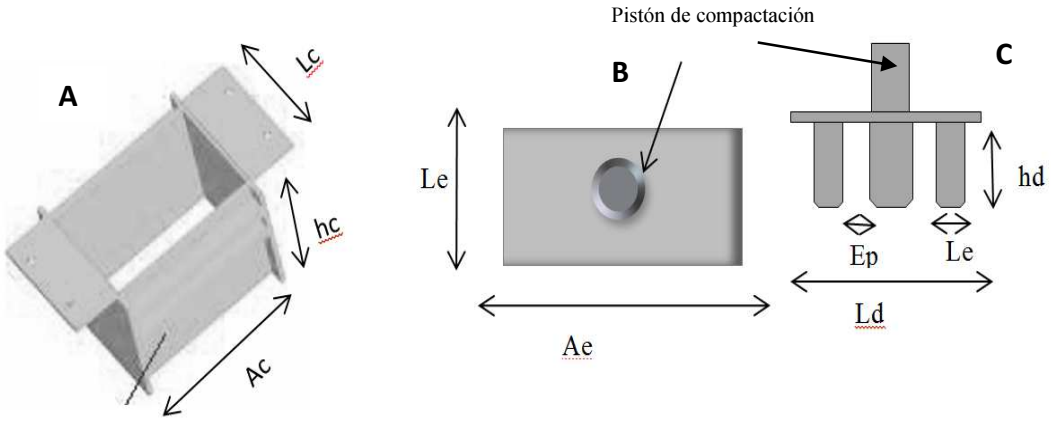


Figura F-9. Moldes para prensa hidráulica. A) Caja de molde para bloque. Vista b) Vertical de molde extrusor. C) Vista vertical de molde extrusor

.

WAM® Inc.

CEMA® SCREW CONVEYORS

BULK MATERIAL CHARACTERISTICS TABLE 1-2

CATALOG 2002

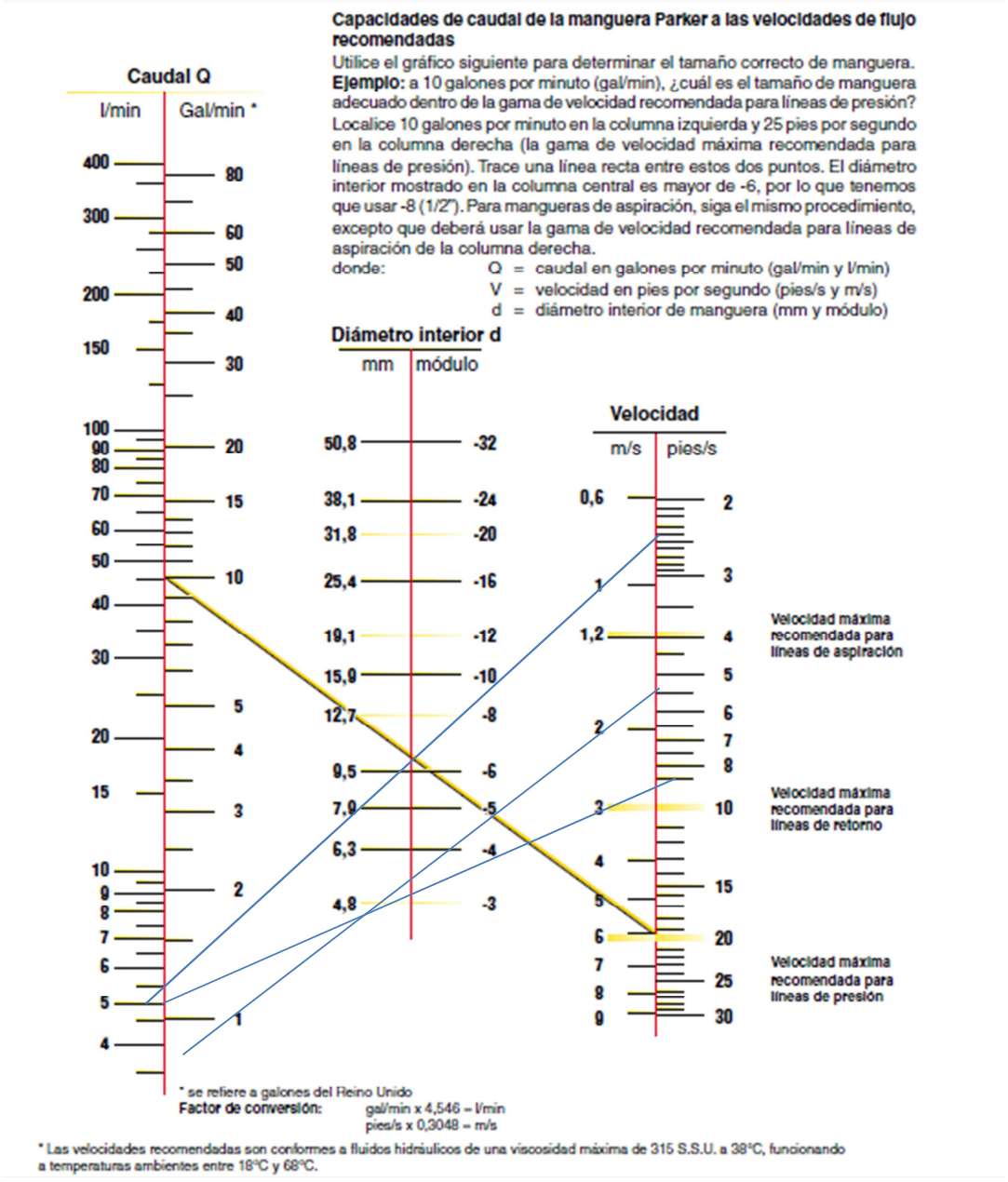
A

18

Material	Weight lbs. per cu. ft.	CEMA Material Code	Angle of Repose (Loose)	Recommended Angle of Max. Inclination (Conveyor)	Intermediate Bearing Selection	Component Series	HP Factor F_m	Trough Loading
Cement, Clinker	75 - 95	$85D_3 36$	30 - 40	18 - 20	H	3	1.8	30B
Cement, Mortar	133	$133B_6 35Q$			H	3	3.0	30A
Cement, Portland	94	$94A_{100} 26M$	30 - 44	20 - 23	H	2	1.4	30B
Cement, Raw Mix	50	$50A_{100} 25L$						
Cement, Rock (See Limestone)								
Ceramic, Fiber, Dust	90	$90A_{100} 17$						
Cement, Aerated (Portland)	60 - 75	$68A_{100} 16M$			H	2	1.4	30B
Cerrusite (See Lead Carbonate)	-	-			-	-	-	-
Chalk, Crushed	75 - 95	$85D_3 25$	45		H	2	1.9	30A
Chalk, Pulverized	67 - 75	$71A_{100} 25MXY$			H	2	1.4	45
Charcoal, Ground	18 - 28	$23A_{100} 45N$			H	2	1.2	30A
Charcoal, Lumps	18 - 28	$23D_3 45QN$	35	20 - 25	H	2	1.4	30A
Chips, Hogged Fuel	15 - 25	$20D_3 45VY$						
Chocolate, Cake, Pressed	40 - 45	$43D_3 25$			S	2	1.5	30A
Chrome Ore (Chromite)	125 - 140	$133D_3 36$	30 - 44		H	3	2.5	30B
Cinders, Blast Furnace	57	$57D_3 36T$	35	18 - 20	H	3	1.9	30B

Fuente: WAM Inc. (2002)

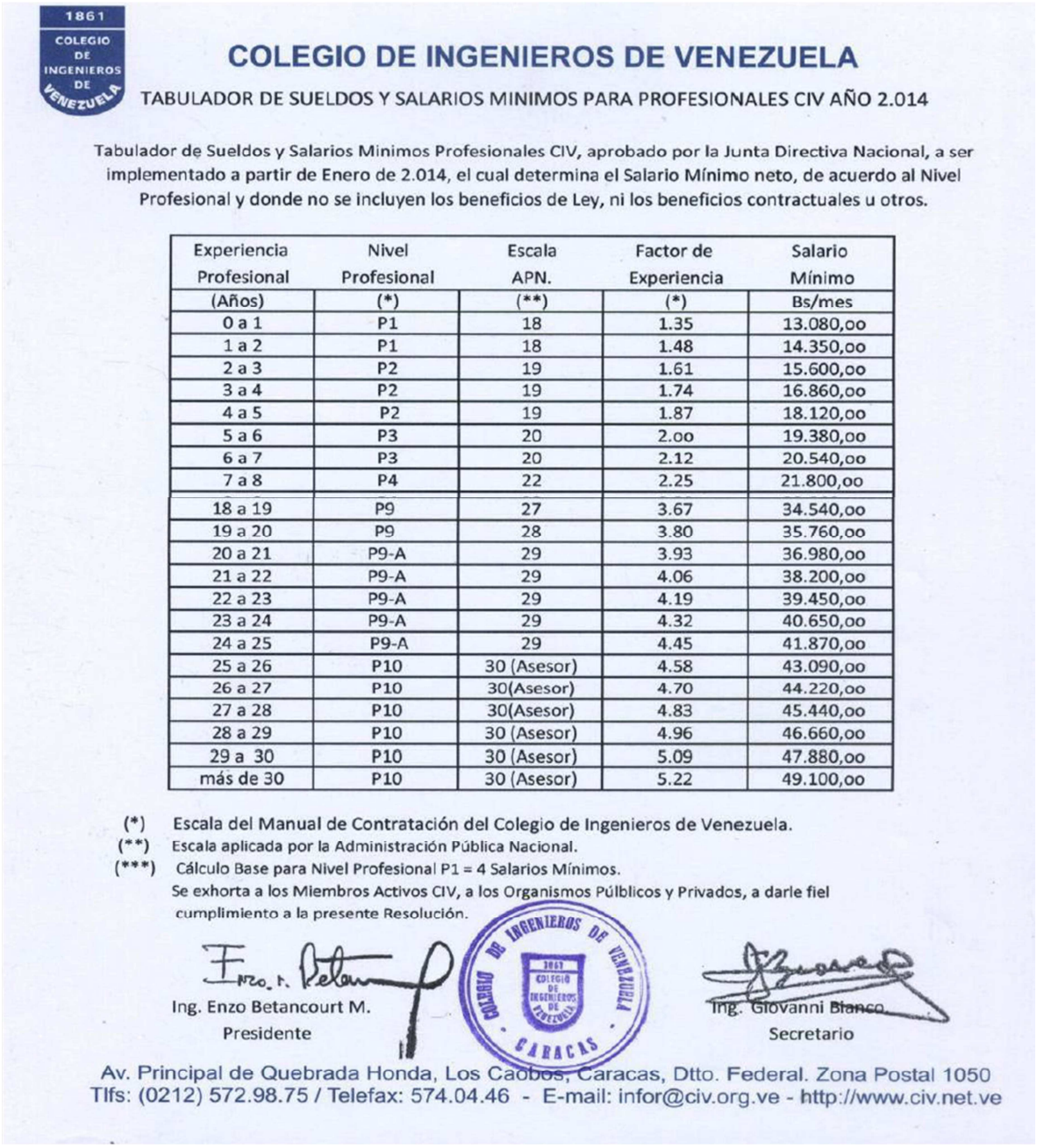
Figura F-10. Factor debido al porcentaje de carga



Fuente: PARKER (2014)

Figura F-11. Nomograma de capacidad de caudal

Apéndice F-4. Figura para estimación de costo



1861 COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

TABULADOR DE SUELDOS Y SALARIOS MINIMOS PARA PROFESIONALES CIV AÑO 2.014

Tabulador de Sueldos y Salarios Minimos Profesionales CIV, aprobado por la Junta Directiva Nacional, a ser implementado a partir de Enero de 2.014, el cual determina el Salario Mínimo neto, de acuerdo al Nivel Profesional y donde no se incluyen los beneficios de Ley, ni los beneficios contractuales u otros.

Experiencia Profesional (Años)	Nivel Profesional (*)	Escala APN. (**)	Factor de Experiencia (*)	Salario Mínimo Bs/mes
0 a 1	P1	18	1.35	13.080,oo
1 a 2	P1	18	1.48	14.350,oo
2 a 3	P2	19	1.61	15.600,oo
3 a 4	P2	19	1.74	16.860,oo
4 a 5	P2	19	1.87	18.120,oo
5 a 6	P3	20	2.oo	19.380,oo
6 a 7	P3	20	2.12	20.540,oo
7 a 8	P4	22	2.25	21.800,oo
18 a 19	P9	27	3.67	34.540,oo
19 a 20	P9	28	3.80	35.760,oo
20 a 21	P9-A	29	3.93	36.980,oo
21 a 22	P9-A	29	4.06	38.200,oo
22 a 23	P9-A	29	4.19	39.450,oo
23 a 24	P9-A	29	4.32	40.650,oo
24 a 25	P9-A	29	4.45	41.870,oo
25 a 26	P10	30 (Asesor)	4.58	43.090,oo
26 a 27	P10	30(Asesor)	4.70	44.220,oo
27 a 28	P10	30(Asesor)	4.83	45.440,oo
28 a 29	P10	30 (Asesor)	4.96	46.660,oo
29 a 30	P10	30 (Asesor)	5.09	47.880,oo
más de 30	P10	30 (Asesor)	5.22	49.100,oo

(*) Escala del Manual de Contratación del Colegio de Ingenieros de Venezuela.
(**) Escala aplicada por la Administración Pública Nacional.
(***) Cálculo Base para Nivel Profesional P1 = 4 Salarios Mínimos.
Se exhorta a los Miembros Activos CIV, a los Organismos Púlblicos y Privados, a darle fiel cumplimiento a la presente Resolución.

Ing. Enzo Betancourt M.
Presidente

COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA 1861 CARACAS

Ing. Giovanni Blanco
Secretario

Av. Principal de Quebrada Honda, Los Caobos, Caracas, Dtto. Federal. Zona Postal 1050
Tlfs: (0212) 572.98.75 / Telefax: 574.04.46 - E-mail: infor@civ.org.ve - http://www.civ.net.ve

Fuente: **CIV(20014)**

Figura F-12. Tabulador para sueldos y salarios mínimos para profesionales CIVano 2014

Apéndice G. Tablas de referencia

En esta seccion se presentan las tablas utilizadas para los cálculos presentados en los apendices B, C y D.

Apéndice G-1. Tablas utilizadas para cálculo de alimentador

Tabla G-1. Condiciones límites típicos de operación de los alimentadores de banda articulada según Norma PDVSA MDP-11-MT-01

Condiciones límites	Valor S.Inglés	Unidad	Valor S.I.	Unidad
Tamaño máximo del material	6	in	152,4	mm
Anchos máximos de las bandas estándares	72	in	1,83	m
Inclinación normal respecto a la horizontal	0	grados	0	
Máxima velocidad de operación	50	pie/min	0,254	m/s

Tabla G-2. Rangos de capacidad de las correas transportadoras

Ancho de la correa (pulg)	Densidad del material (lb/pie3)	Capacidad (t/h) para una velocidad de la correa dada (pie/min)											Sección transversal de la carga (pie2)
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
14	30	8	12	16	20	24	-	-	-	-	-	-	0,090
	50	14	21	27	35	41	-	-	-	-	-	-	
	75	20	30	40	50	60	-	-	-	-	-	-	
	100	27	41	54	68	71	-	-	-	-	-	-	
	125	34	51	68	85	102	-	-	-	-	-	-	
	150	40	60	81	100	112	-	-	-	-	-	-	
16	30	11	17	23	29	34	-	-	-	-	-	-	0,126
	50	19	29	38	48	57	-	-	-	-	-	-	
	75	29	43	57	72	86	-	-	-	-	-	-	
	100	38	57	76	95	114	-	-	-	-	-	-	
	125	48	72	95	122	148	-	-	-	-	-	-	
	150	57	86	114	143	171	-	-	-	-	-	-	

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997).

Tabla G-2. Rangos de capacidad de las correas transportadoras (continuación)

Ancho de la correa (pulg)	Densidad del material (lb/pie3)	Capacidad (t/h) para una velocidad de la correa dada (pie/min)											Sección transversal de la carga (pie2)
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
18	30	15	23	30	38	45	53	60	-	-	-	-	0,165
	50	25	38	50	63	75	88	99	-	-	-	-	
	75	38	57	75	94	112	131	149	-	-	-	-	
	100	50	75	99	124	149	174	198	-	-	-	-	
	125	63	94	124	156	187	218	248	-	-	-	-	
	150	75	113	149	187	224	262	297	-	-	-	-	
20	30	19	28	38	49	59	67	75	-	-	-	-	0,208
	50	32	48	63	79	94	110	125	-	-	-	-	
	75	48	71	94	120	146	167	188	-	-	-	-	
	100	63	94	125	162	198	224	250	-	-	-	-	
	125	79	118	157	201	245	279	313	-	-	-	-	
	150	95	142	188	240	292	333	375	-	-	-	-	
24	30	29	43	58	73	87	102	116	130	145	-	-	0,321
	50	48	73	97	121	145	169	193	217	241	-	-	
	75	72	109	145	182	218	254	290	326	362	-	-	
	100	97	145	193	242	290	338	386	435	483	-	-	
	125	121	186	242	302	363	423	483	543	603	-	-	
	150	145	218	290	363	435	507	579	652	724	-	-	
30	30	48	72	95	119	143	167	191	215	239	-	-	0,530
	50	79	119	159	199	239	279	318	358	398	-	-	
	75	119	179	238	298	358	418	477	537	596	-	-	
	100	159	239	318	398	477	557	636	716	795	-	-	
	125	198	298	397	497	596	696	795	895	994	-	-	
	150	238	358	477	597	716	836	954	1074	1193	-	-	
36	30	71	107	142	178	213	248	284	319	355	390	426	
	50	119	178	236	296	355	414	473	532	591	650	709	
	75	178	266	354	444	532	621	710	798	886	975	1064	
	100	237	355	473	592	710	828	946	1064	1182	1301	1419	
	125	296	444	591	740	888	1035	1183	1330	1477	1626	1773	
	150	356	533	709	888	1065	1242	1419	1596	1773	1951	2128	

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997).

Tabla G-3. Velocidades máximas de las correas transportadoras

Material Transportado	Velocidad de la correa pie/min	Ancho de la correa (pulg)
Granos u otros materiales de alta fluencia, no abrasivos	500	18
	700	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
Carbón, minerales blandos, piedra finamente molida	400	18
	600	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
Arena de todo tipo	200	Cualquier ancho
Materiales no abrasivos descargados desde correas transportadoras por medio de extractores	200 excepto para pulpa de madera donde 300-400 es preferible	
Alimentadores de correa para descargar materiales finos, no abrasivos, o ligeramente abrasivos desde tolvas	50-100	Cualquier ancho

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997).

Tabla G-4. Factores de fricción y longitud

Tipo de correa	Factor de fricción, c	Factor de longitud, Lo
Para correas transportadoras con estructuras permanentes o bien alineadas, mantenimiento normal	0,022	200
Para transportadores temporales, portátiles o pobremente alineados. Para correas en ambientes muy fríos, o sujetas a frecuentes paradas o arranques	0,03	150
Para correas transportadoras que requieren restricciones cuando son cargadas	0,012	45
Los factores c y Lo han sido probados satisfactoriamente en la mayoría de las correas transportadoras. Sin embargo, para correas que requieran ser muy largas, muy inclinadas o con alta carga se debe consultar a los fabricantes del ramo.		

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Tabla G-5. Factor de peso de las partes móviles de la correa

Ancho de la correa (pulgadas)	Servicio liviano. Densidad de la carga hasta 50 lb/pie^3 (Q)	Servicio medio. Densidad de la carga 50 a 100 lb/pie^3 (Q)	Servicio pesado. Densidad de la carga mayor a 100 lb/pie^3 (Q)
14	7	13	19
16	8	14	21
18	9	16	23
20	10	18	25
24	14	21	29
30	19	28	38
36	26	38	52
42	33	50	66
48	40	60	82
54	50	71	97
60	62	85	115
66	75	103	135
72	88	121	155

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Tabla G-6. Diámetros mínimos del rodillo tractor para correas

Tensión máxima de la correa	80-100% de tensión	60-80% de tensión	40-60% de tensión
100 piw	14	12	12
150 piw	16	14	12
200 piw	18	16	14
300 piw	24	20	18
400 piw	30	24	20
500 piw	36	30	24
700 piw	42	36	30

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Tabla G-7. Factores envolventes para rodillos tractores

		Factor envolvente ("wrap factor"), Cw			
		Tensor gravitatorio		Tensor de tornillo	
Tipo de impulsor	**Arco de contacto, ɵ**	**Rodillo tractor descubierto**	**Rodillo tractor cubierto**	**Rodillo tractor descubierto**	**Rodillo tractor cubierto**
Simple	180°	0,84	0,5	1,2	0,8
	200°	0,72	0,42	1	0,7
	210°	0,66	0,38	1	0,7
	220°	0,62	0,35	0,9	0,6
	240°	0,54	0,3	0,8	0,6
Doble	380°	0,23	0,11	0,5	0,3
	420°	0,18	0,08		

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Tabla G-8. Clasificación de los rodillos simples

Clasificación	Diámetro del rodillo (pulgadas)	Descripción
A4	4	Servicio liviano
A5	5	Servicio liviano
B4	4	Servicio liviano
B5	5	Servicio liviano
C4	4	Servicio medio
C5	5	Servicio medio
C6	6	Servicio medio
D5	5	Servicio medio
D6	6	Servicio medio
E6	6	Servicio pesado
E7	7	Servicio pesado

Fuente: Norma PDVSA MDP-11-MT-02 (1997)

Apéndice G-2. Tablas utilizadas para dimensionamiento de mezclador

Tabla G-9. Factor especial de capacidad por el tipo de paso

Longitud	Descripción	CF1
Estándar	Longitud = Diámetro de hélice	1
Corto	Longitud = 2/3 diámetro de hélice	1,5
Mediano	Longitud = 1/2 diámetro de hélice	2
Largo	Longitud = 1 1/2diámetro de hélice	0,67

Fuente: Quiroga (2010)

Tabla G-10. Factor especial de capacidad por tipo de hélice (CF2)

Tipo de hélice	Transportador de carga		
	15%	30%	45%
Hélice corta	1,95	1,57	1,43
Hélice corta y doblada	N.R	3,75	2,54
Hélice tipo cinta	1,04	1,37	1,62

Fuente: Quiroga R, (2010)

Tabla G-11. Factor especial de capacidad por paletas mezcladoras (CF3)

Paletas estándar a 45º	Palas por paso				
	Ninguno	1	2	3	4
Factor CF3	1	1,08	1,16	1,24	1,32

Fuente: Quiroga R, (2010).

Tabla G-12. Factor de diámetro del agitador

Diámetro del tornillo (pulgadas)	Factod Fd	Diámetro del tornillo (pulgadas)	Factor Fd
4	12,0	16	106
6	18,0	18	135
9	31,0	20	165
10	37,0	24	235
12	55,0	30	360

Fuente: Quiroga R, (2010).

Tabla G-13. Factor del tipo de rodamiento

Bearin type		Hanger Bearing Factor Fb
B	Ball	1
L	Bronze	2
S	Graphite Bronze	2
	Melamine (MCB)	
	Oil Impreg. Bronze	
	Oil Impreg. Wood	
	Nylatron	
	Nylon	
	Teflon	
	UHMW	
H	Hard Surfaced	4,4
	Stellite	
	Ceramic	

Fuente: Quiroga R, (2010).

Tabla G-14. Factor debido al porcentaje de carga

Tipo de paletas	Ff Factor por porcentaje de carga			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1,0	1,0	1,0	1,0
Paletas cortas	1,10	1,15	1,20	1,3
Paletas cortas e inclinadas	N.R.	1,50	1,70	2,20
Tipo cinta	1,05	1,14	1,20	-

Fuente: Quiroga R, (2010).

Tabla G-15. Factor de paletas por paso

Paletas por paso estándar, Paletas a 45º					
Numero de paletas por paso	0	1	2	3	4
Factor Fp	1,0	1,29	1,58	1,87	2,16

Fuente: Quiroga R, (2010).

Tabla G-16. Factor de eficiencia de la transmisión

Screw drive or shaft mount V-Belt drive	V-Belt to helical gear and coupling	Gearmotor wf coupling	Gearmotor wf chain driver	Worm gear
0,88	0,87	0,95	0,87	Consult manufacturer

Fuente: Quiroga R, (2010).

Apéndice G-3. Tablas utilizadas para dimensionamiento de prensa hidráulica

Tabla G-17. Tipos de aceites hidráulicos comerciales

Descripción	Grado (ASTM)	Gravedad específica a 16 °C (Kg/Lts)	Color (ASTM)	Viscosidad (SUS)
Aceite estándar	215	0,88	2	215
Flame out	200	0,91	Ámbar Claro	220
Biodegradable	-	0,92	2	183
Baja temperatura	-	0,87	6,5 (rojo)	183

Fuente: Power Team. Catalago PTM10ES

BN-01
CAJA DE ALIMENTACIÓN
TIPO: TOLVA DE UNA SALIDA
DIMENSIONES: 12,34x12,34x19.61 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,0028 m3
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 7,74 kg

BC-01
CINTA DE ALIMENTACIÓN
TIPO: ALIMENTADOR DE CORREA ("BELT FEEDER")

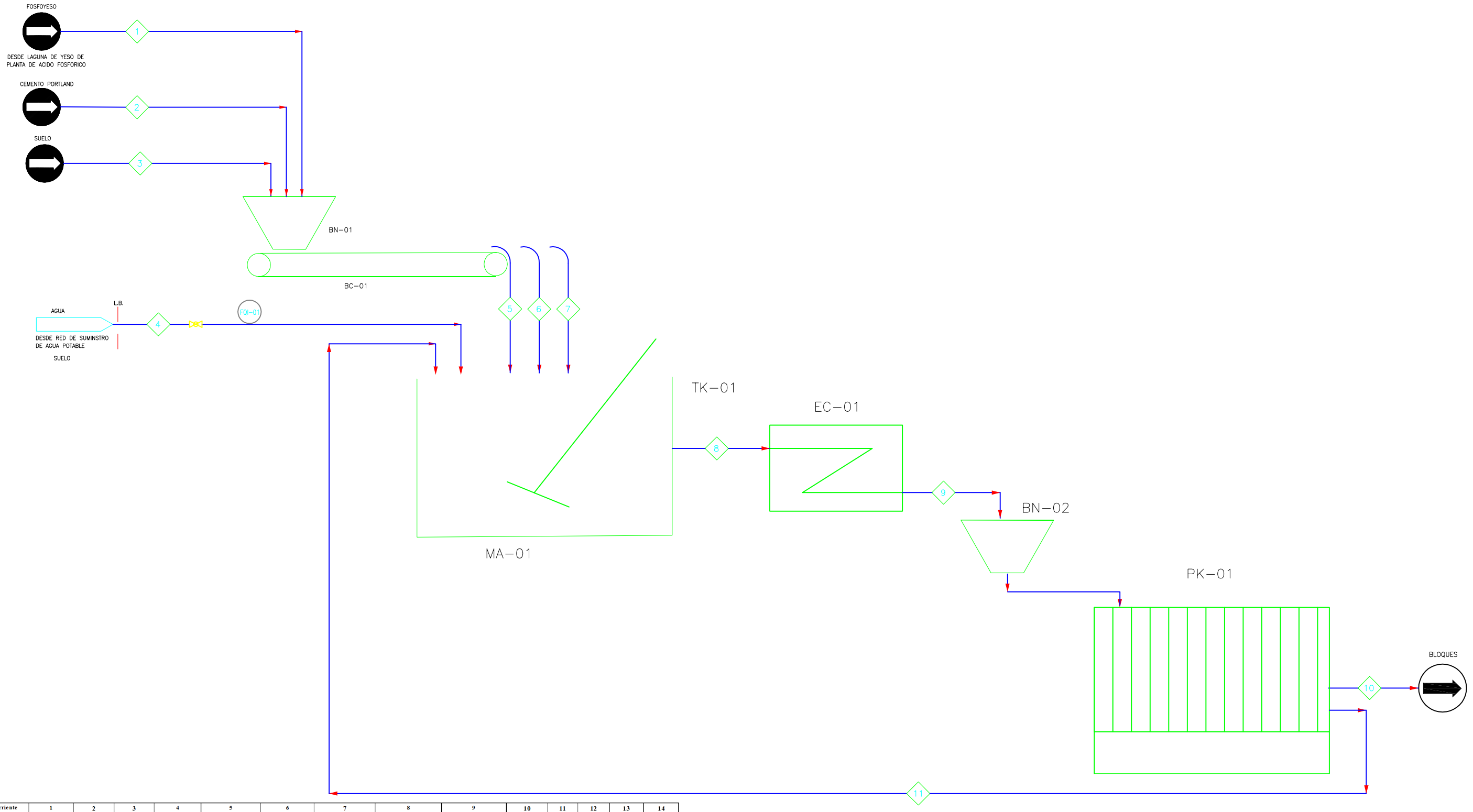
TK-01
TANQUE DE MEZCLADO
TIPO: TANQUE ATMOSFERICO, CILINDRICO VERTICAL
DIMENSIONES: 19,6x57,5 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,198 m3/h
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 12,82 kg

MA-01
AGITADOR DEL TANQUE TK-01
TIPO: DE PALETAS EXCENTRICAS, FLUJO AXIAL
REVOLUCIONES: 140 RPM
DIÁMETRO DEL IMPELER: 0,19 m
POTENCIA: 0,5 HP

EC-01
ELEVADOR DE CANGILÓN

BN-02
CAJA DE ALIMENTACIÓN A PRENSA PK-01
TIPO: TOLVA DE UNA SALIDA
DIMENSIONES: 27,3x7,02x17,56 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,01 m3
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 10,49 kg

PK-01
PRENSA DE BLOQUES



Nº Corriente		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Descripción		Alimentación Fosfoyeso	Alimentación Suelo	Alimentación Cemento	Alimentación Agua	Fosfoyeso para tanque de mezclado	Suelo para tanque de mezclado	Cemento para tanque de mezclado	Mezcla para fabricación de bloques	Mezcla alimentación a prensa	Bloque húmedo	Residuos	Pérdidas	Bloque seco	Agua evaporada
Servicio		Fosfoyeso	Suelo	Cemento	Agua	Fosfoyeso	Suelo	Cemento	Mezcla	Mezcla	Bloque húmedo	Residuos	Efluentes	Bloque	Agua
Masa (Kg)		2,57	1,52	0,52	0,63	2,57	1,52	0,52	5,24	5,24	5,18	0,04	0,03	4,48	0,70
Volumen (m³)		0,0026	0,0009	0,0005	0,0006	0,0026	0,0009	0,0005	0,0066	0,0066	0,0028	0,0000		0,0028	0,0007
Temperatura (°C)		31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00		31,00	31,00
Presión (Atm)		1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03		1,03	1,03
Composición (p/p)	Fosfoyeso (%)	81,60	0,00	0,00	0,00	81,60	0,00	0,00							
	Fosfoyeso (Kg)	2,10	0,00	0,00	0,00	2,10	0,00	0,00							
	Suelo (%)	0,00	90,71	0,00	0,00	0,00	90,71	0,00							
	Suelo (Kg)	0,00	1,38	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00							
	Cemento (%)	0,00	0,00	99,70	0,00	0,00	0,00	99,70							
	Cemento (Kg)	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,52							
	Agua (%)	18,40	9,29	0,30	100,00	18,40	9,29	0,30	23,74	23,74	23,66	52,14		11,78	100,00
	Agua (Kg)	0,47	0,14	0,00	0,63	0,47	0,14	0,00	1,24	1,24	1,23	0,02		0,53	0,70

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POR	APROBO
A	26/09/14	INICIAL	M.G.	

DISENADO	26/09/14	M.G.	
PROYECTADO	26/09/14	M.G.	
REVISADO	00/00/00	I.L.	
APROBADO	00/00/00		

PROYECTO
EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORON

INSTALACION: 370-A

TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACIÓN CON BLOQUES DE FOSFOYESO

ESCALA	FECHA	CODIGO DE PLANO:	REV.
	00/00/00	MR13M1301-CCPRP02001	A

MR13M1301-CCPRP02001 00-00-00

1 TK-02
TANQUE CONTENEDOR DE ACEITE HIDRÁULICO
TIPO: CILINDRICO, ATMOSFERICO
DIMENSIONES: 40x25,08 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,0315 m3
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 40 kg

2 P-01
BOMBA HIDRAULICA
TIPO: BOMBA HIDRAULICA DE EMBOLOS AXIALES Y DESPLAZAMIENTO VOLUMÉTRICO VARIABLE
FLUJO VOLUMÉTRICO: 0,0022 m3/min
PRESIÓN DE DISENO: 49,09 Kg/min
TEMPERATURA DE DISENO: 18,94 Kg/cm2
TIPO DE ELEMENTO MOTRIZ: MOTOR PK-01
POTENCIA INSTALADA: 0,5 HP

3 PKM-01
MOTOR HIDRAULICO
TIPO: UNIDAD DE POTENCIA HIDRAULICA

4 PI-01
INDICADOR DE PRESIÓN
TIPO: MANÓMETRO

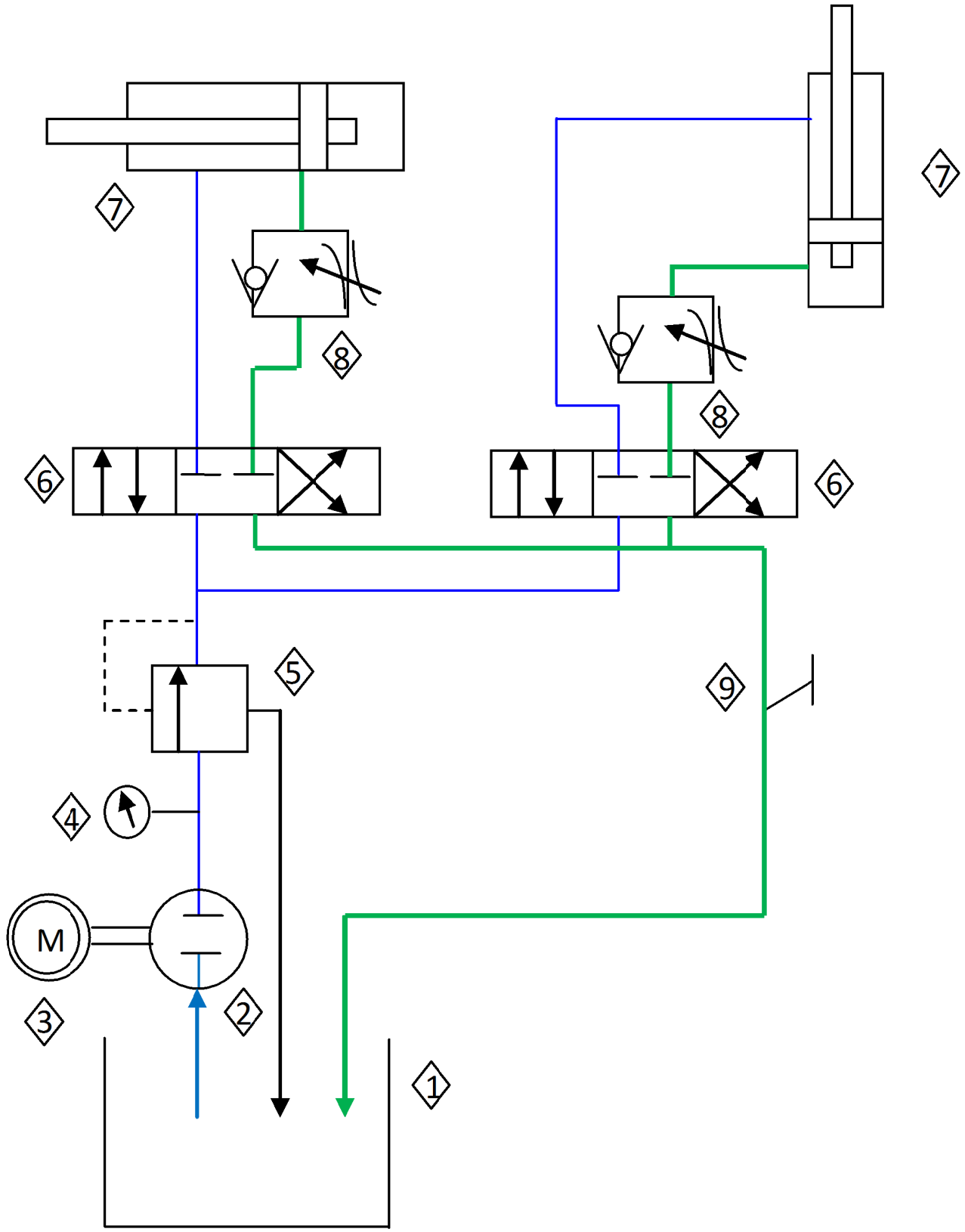
5 PSV-01
VALVULA CONTROLADORA DE PRESIÓN Y ALIVIO

6 DCV-01A/B
VALVULA DIRECCIONAL

7 CIL-01A/B
CILINDRO HIDRAULICO

8 FCV-01A/B
CONJUNTO REGULADOR ANTIRRETORNO VALVULA CONTROLADORA DE FLUJO CON ACOPLE DE VALVULA SHECK

9 FL-01
FILTRO DE ACEITE



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POR	APROBO
A	26/09/14	INICIAL	M.G.	

DISENADO	26/09/14	M.G.	
PROYECTADO	26/09/14	M.G.	
REVISADO	00/00/00	I.L.	
APROBADO	00/00/00		

PROYECTO
EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORON

INSTALACION: 370-A

TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACIÓN CON BLOQUES DE FOSFOYESO

ESCALA	FECHA	CODIGO DE PLANO:	REV.
N/A	00/00/00	MR13M1301-CCPRP02002	A

MR13M1301-CCPRP02002 00-00-00

BN-01
CAJA DE ALIMENTACIÓN
TIPO: TOLVA DE UNA SALIDA
DIMENSIONES: 12.34x12.34x19.61 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL:0,0028 m3
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 7,74 kg

BC-01
CINTA DE ALIMENTACIÓN
TIPO: ALIMENTADOR DE CORREA ("BELT FEEDER")
DIMENSIONES: 17,78x2,297x70 cm
FLUJO DE DISENO: 49,094 Kg/min
FLUJO DE OPERACIÓN: 4,614 kg/min
POTENCIA INSTALADA: 0,5 HP

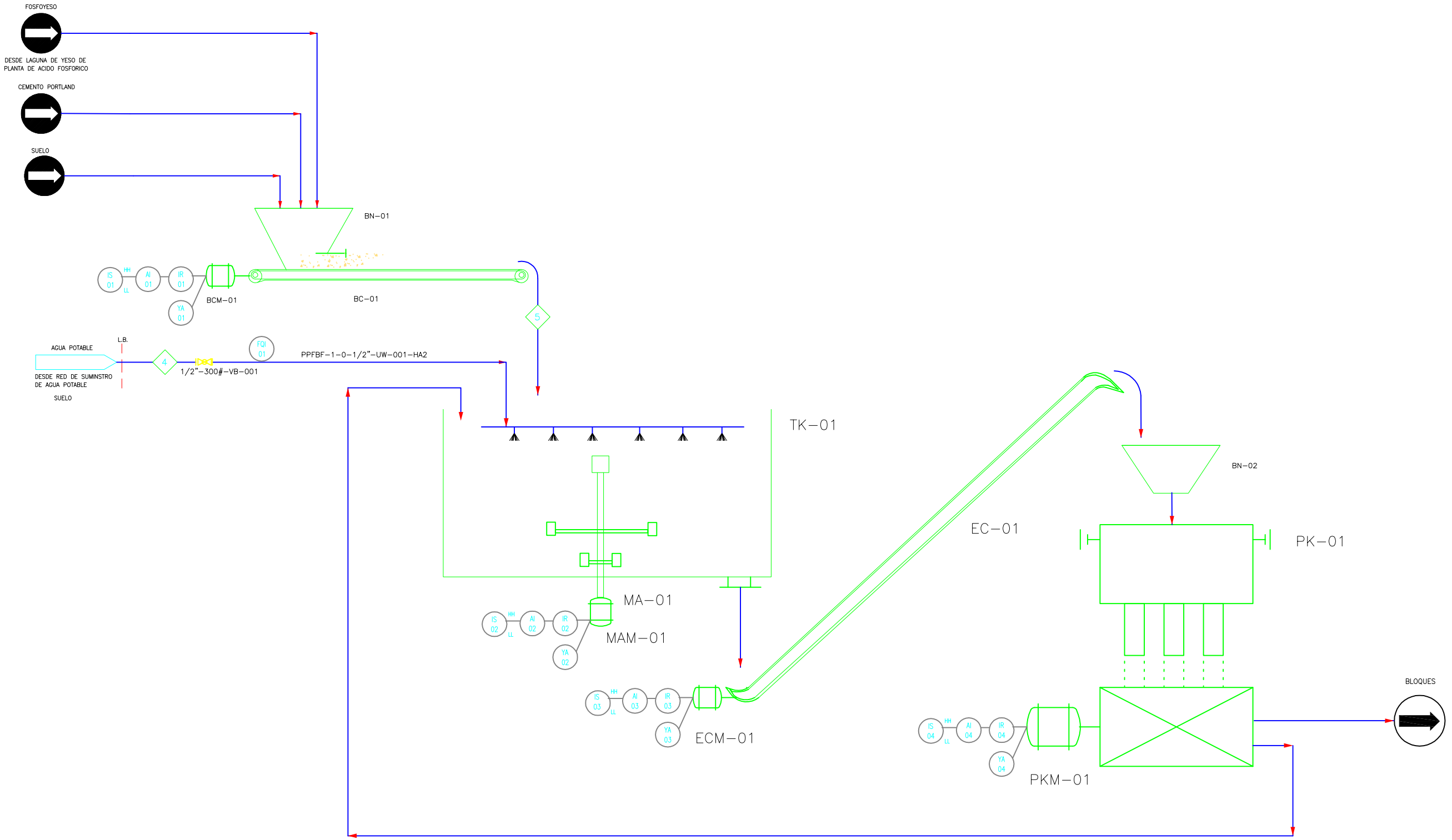
TK-01
TANQUE DE MEZCLADO
TIPO: TANQUE ATMOSFERICO
DIMENSIONES: 19,6x57,5 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,198 m3/h
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 12,82 kg

MA-01
AGITADOR DEL TANQUE TK-01
TIPO: DE PALETAS EXCENTRICAS, FLUJO AXIAL
REVOLUCIONES: 140 RPM
POTENCIA: 0,5 HP

EC-01
ELEVADOR DE CANGILÓN
TIPO: ESPACIADO, DE UN SOLO CANGILÓN
POTENCIA INSTALADA: 0,5 HP
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:

BN-02
CAJA DE ALIMENTACIÓN A PRENSA PK-01
TIPO: TOLVA DE UNA SALIDA
DIMENSIONES: 27,3x7,02x17,56 cm
TEMP. DE OPERACIÓN: 31°C
PRESIÓN DE OPERACIÓN: ATMOSFÉRICA
CAPACIDAD NOMINAL: 0,01 m3
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (MASA): 10,49 kg

PK-01
PRENSA DE BLOQUES
TIPO: PRENSA HIDRAULICA
CAPACIDAD: 1 BLOQUE POR CARGA
PRESIÓN DE DISENO: 50 psi
TEMPERATURA DE DISENO: 31°C



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POR	APROBO
A	26/09/14	INICIAL	M.G.	

DISENADO	26/09/14	M.G.
PROYECTADO	26/09/14	M.G.
REVISADO	00/00/00	I.L.
APROBADO	00/00/00	

PROYECTO:
EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORON

INSTALACION: 370-A

TITULO: DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACIÓN CON BLOQUES DE FOSFOYESO

ESCALA	FECHA	CODIGO DE PLANO:	REV.
	00/00/00	MR13M1301-CCPRP04001	A

MR13M1301-CCPRP04001 00-00-00

A3

ALIMENTACIÓN INICIAL

DIRECCIÓN DE FLUJO

FLECHA DE CONTINUACIÓN

PRODUCTO FINAL

L.B.

LÍMITE DE BATERÍA

4

NUMERO DE LA CORRIENTE

IS 01

INTERRUPTOR DE CORRIENTE

AI 01

ANALIZADOR DE CORRIENTE

IR 01

REGISTRADOR DE CORRIENTE

YA 01

ALARMA DE FALLA DE MOTOR

FQI 01

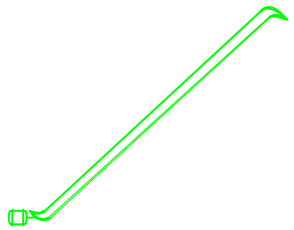
INDICADOR TOTALIZADOR DE FLUJO

CINTA TRANSPORTADORA

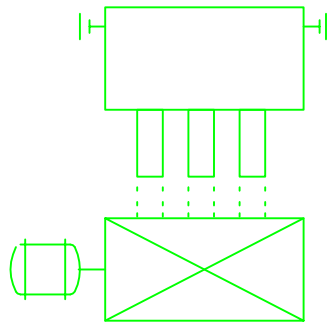
MEZCLADOR (AGITADOR)DE PALETAS

N.C.

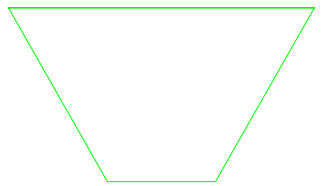
MEZCLADOR (AGITADOR)DE PALETAS



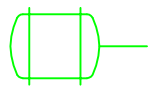
ELEVADOR DE CANGILONES



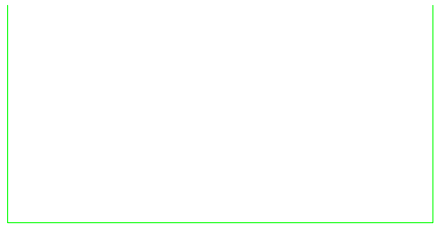
PRENSA



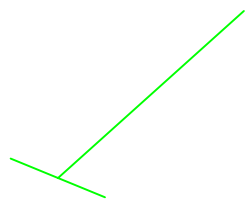
TOLVA DE ALIMENTACIÓN



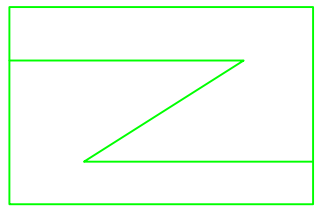
MOTOR ELECTRICO



TANQUE



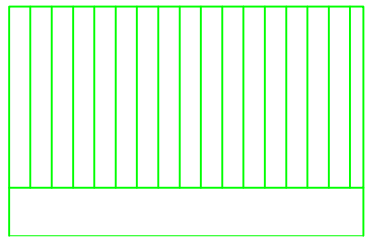
AGITADOR



ELEVADOR DE CANGILONES

VALVULA DE BOLA

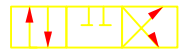
SPRAY



PRENSA

CILINDRO PISTÓN

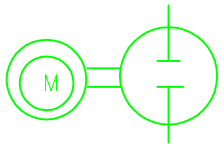
CONJUNTO REGULADOR Y ANTIRRETORNO



VÁLVULA DIRECCIONAL

VÁLVULA DE SEGURIDAD Y ALIVIO

FILTRO

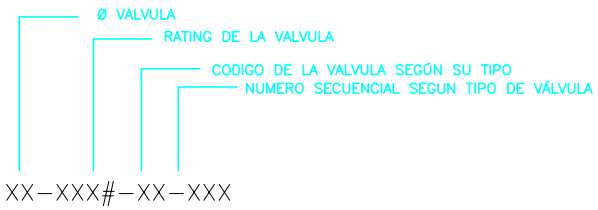


BOMBA HIDRÁULICA CON ACOPLE MECÁNICO DE MOTOR HIDRÁULICO

MANÓMETRO

IDENTIFICACIÓN DE LINEAS

IDENTIFICACIÓN DE VALVULAS



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POR	APROBO
A	26/09/14	INICIAL	M.G.	

DISEÑADO	26/09/14	M.G.
PROYECTADO	26/09/14	M.G.
REVISADO	00/00/00	I.L.
APROBADO	00/00/00	

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FOSFOYESO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE ACIDO **FOSFORICO DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORON**

INSTALACION: **370–A**

TITULO: PLANO DE SIMBOLOGÍA Y LEYENDA DE PLANTA PILOTO PARA LA FABRICACIÓN CON BLOQUES DE FOSFOYESO

ESCALA	FECHA	CODIGO DE PLANO:	REV.
	00/00/00	MR13M1301–CCGNP01001	A

MR13M1301–CCGNP01001 00–00–00