

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería Electromecánica**  
**Ingeniería en Mantenimiento Industrial**



**Quebrador Ochomogo LTDA.**

**“Instalación y puesta en marcha de filtro prensa para el tratamiento de lodos  
en la empresa Quebrador Ochomogo LTDA”**

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniero en  
Mantenimiento Industrial, Grado Licenciatura.**

**Estudiante:**

**Andrey Rizo Gómez**

**Cartago Mayo del 2015**



**engineerscanada**

**Escuela Acreditada por el  
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)**

## INFORMACION DEL ESTUDIANTE Y DE LA EMPRESA

---

### Información del Estudiante

<b>Nombre</b>	Andrey Rizo
<b>Cedula</b>	6 0382 0253
<b>Carné</b>	200704197
<b>Dirección</b>	150 m oeste del bar Chavas, contiguo a Walmart, calle La Puebla, Cartago.
<b>Teléfono</b>	8683 8932
<b>E-mail</b>	ozir89@gmail.com

## **Información del Proyecto**

**Nombre del Proyecto** Instalación y puesta en marcha de filtro prensa para el tratamiento de lodos en la empresa Quebrador Ochomogo LTDA

**Profesor Asesor** Ing. Rodolfo Elizondo

**Horario trabajo del estudiante** Lunes a viernes de 8:00 am a 5:00 pm

## Información de la Empresa

<b>Nombre</b>	Quebrador Ochomogo Ltda.
<b>Zona</b>	Llano grande, Cartago.
<b>Dirección</b>	1,5 km al norte del Colegio Seráfico, carretera a Llano Grande, Cartago.
<b>Teléfono</b>	+506 2537 1000
<b>Actividad Principal</b>	Extracción de agregados para la construcción

## DEDICATORIA

---

*Dedicada a todas las personas que me ayudaron a estar aquí, por el apoyo, esfuerzo y consejo que me han brindado todos estos años. En especial a mi madre y a mi tía por darme la oportunidad de estudiar y llegar a este primer pasó en mi vida profesional.*

*A mi abuelita que está en el cielo, que aunque no pudo ver terminado el objetivo estuvo siempre de manera incondicional y constante para brindarme su apoyo y consejos.*

## AGRADECIMIENTOS

---

*Agradezco a esta casa de estudios que ha sido como mi segundo hogar en esta etapa de mi vida, a todos aquellos compañeros colegas con quienes compartí los conocimientos y experiencias que nos convirtieron en los profesionales que somos hoy, sin su ayuda quizás no hubiera llegado tan lejos.*

*A la empresa Quebrador Ochomogo y a todo el personal con el que compartí, por darme la oportunidad y confianza de realizar mi proyecto de graduación en sus instalaciones, brindando toda la ayuda necesaria para el desarrollo del mismo.*

## RESUMEN

---

El proyecto se desarrolla en la empresa Quebrador Ochomogo Limitada, dicha empresa produce agregados para la construcción lavando el material traído de la cantera, ofreciendo diferentes productos manteniendo siempre los estándares de calidad. Al lavar el material, el agua resulta ser de vital importancia para la producción de agregados en la empresa, la dificultad de obtenerla en épocas de verano disminuye su productividad aumentando los costos en operación, por esta razón se ideó un proyecto para ahorrar la mayor cantidad de agua, y lograr que las reservas en verano permanezcan por más tiempo.

En consecuencia el proyecto a desarrollar tiene como objetivo la instalación y gestión del proyecto constructivo, mecánico y eléctrico; diseño de sistemas auxiliares (aire comprimido y bombeo de lodos) y por último puesta en marcha de un filtro prensa para la filtración de lodos y lograr la mayor recuperación de agua sucia, la cual era desechada con anterioridad.

Gestionar el proyecto conlleva a una planeación estratégica de actividades, tiempos y recursos, sin embargo la programación llevada suponía un control minucioso para evitar el surgimiento de dificultades en la obra. Al calcular el volumen de agua capaz de captar la empresa se cuantifica el impacto que genere la instalación del filtro prensa en el consumo diario del agua. A su vez se diseñó el sistema de aire comprimido junto con el sistema de bombeo de lodos que utiliza el filtro, utilizando criterios como el caudal de diseño y las pérdidas de presión para el cálculo de las tuberías, cotizando los materiales necesarios y procediendo a su debida instalación.

Por último y no menos importante se crea un manual de mantenimiento preventivo mediante inspecciones y rutinas que nos permita cuidar la máquina y aumentar su fiabilidad, elevando su rendimiento y producción de filtraje de lodos.

**Palabras Claves:** filtro, aire comprimido, gestión proyecto, diseño hidráulico, preventivo.

## ABSTRACT

---

The project is developed in the company Quebrador Ochomogo Limitada, the company produces construction aggregates washing the material brought from the quarry, offering different products while maintaining the quality standards. When washing the material, the water turns out to be of vital importance for the production of aggregates in the company, the difficulty of obtaining it in the summertime decreases their productivity increased operating costs, which is why a project was designed to save as much water, and make reservations in summer stay longer.

Consequently, the project aims to develop the installation and management of the construction, mechanical and electrical project; design (compressed air and pumping sludge) auxiliary systems and finally implementation of a filter press for filtration of sludge and achieve maximum recovery of dirty water, which was previously discarded.

Manage the project ultimately led to a strategic planning activities, time and resources, however programming a thorough check carried supposed to prevent the emergence of difficulties in the work. When calculating the volume of water can catch the company quantified the impact that gender filter press installation in the daily water consumption.

Turn the compressed air system with the sludge pumping system using the filter, using criteria such as the design flow and pressure losses to calculate the pipes, quoting the necessary materials and proceeding designed his proper installation. Last but not least preventive maintenance manual is created through inspections and routines that allow us to take care of the machine and increase its reliability, performance and raising its production of sludge filtering.

**Keywords:** filter, compressed air, project management, hydraulic design, preventative.

## Tabla de Contenido

---

1. Capítulo I. Introducción.....	17
1.1. Descripción de la empresa.....	18
1.1.1. Antecedentes de la empresa .....	18
1.1.2. Misión .....	19
1.1.3. Visión.....	19
1.1.4. Valores .....	19
1.1.5. Número de Empleados .....	20
1.1.6. Compromiso Ambiental de Seguridad .....	20
1.1.7. Estructura Organizacional.....	21
1.2. Proceso Productivo .....	21
1.3. Definición del problema.....	24
1.4. Justificación del Proyecto.....	24
1.5. Objetivos. ....	25
1.5.1. Objetivo General.....	25
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	25
1.6. Alcances y limitaciones del proyecto.....	26
1.7. Metodología general de la obra a instalar .....	27
2. Capítulo II. Sistema filtro-prensado.....	29
2.1. Equipo Filtro Prensa .....	30
2.2. Elementos Básicos.....	30
2.2.1. Bastidor.....	30
2.2.2. Paquete filtrante.....	33
2.2.3. Equipo Auxiliar.....	34
2.3. Funcionamiento.....	35
2.4. Instalación. ....	37
2.5. Características equipo que se va a instalar.....	37
3. Capítulo III. Montaje civil y estructural de la obra. ....	39
3.1. Introducción.....	40
3.2. Transporte del filtro prensa.....	40
3.2.1. Metodología llegada al país. ....	40
3.3. Metodología llegada a la empresa. ....	41

3.4. Obra gris.....	41
3.4.1. Planos de construcción del muro.....	42
3.4.2. Movimientos del terreno.....	42
3.4.3. Compra de materiales. ....	44
3.4.4. Levantamiento del muro. ....	46
3.5. Obra estructura metálica. ....	48
3.5.1. Planos constructivos de la estructura. ....	48
3.5.2. Compra de materiales. ....	49
3.5.3. Construcción de pasarelas. ....	49
3.5.4. Colocación e instalación de pasarelas.....	50
3.5.5. Seguridad en pasarelas.....	51
3.6. Colocación del filtro prensa. ....	51
3.6.1. Guía de actividades para colocar el filtro.....	51
3.7. Conexiones de tuberías, aire comprimido y accesorios. ....	54
3.8. Automatización del filtro prensa. ....	54
3.8.1. Estudio de carga agregada del sistema.....	54
3.8.2. Acometida necesaria. ....	55
3.8.3. Planos instalación eléctrica del filtro. ....	57
3.8.4. Empresa encargada de la instalación.....	57
4. Capítulo 4. Capacidad de almacenamiento y caudales del sistema de agua actual.....	58
4.1. Marco Teórico. ....	59
4.1.1. Introducción. ....	59
4.1.2. Clasificación del agua según su uso.....	59
c. El agua en minería. ....	60
d. Normativas de regulación.....	61
4.2. Metodología.....	61
4.3. Capacidad de almacenamiento. ....	63
4.3.1. Antecedentes.....	63
4.3.2. Volumen de almacenamiento. ....	65
4.3.3. Consumo de agua antes filtro prensa. ....	66
4.3.4. Caudales del sistema agua.....	69

4.3.5.	Temporada invierno.....	76
4.3.6.	Temporada de verano. ....	76
4.3.7.	Consumo de agua después filtro prensa. ....	77
5.	Capítulo 5. Diseño de sistema de alimentación de lodos para alimentación del filtro prensa.....	82
5.1.	Marco teórico.....	83
5.1.1.	Consumo y presiones mínimas.....	83
5.1.2.	Selección tuberías. ....	83
5.1.3.	Caída presión en tuberías y presión a levantar por la bomba.....	84
5.2.	Calculo del caudal de diseño.....	86
5.2.1.	Introducción. ....	86
5.2.2.	Caudal de diseño. ....	88
5.3.	Selección de tubería a utilizar. ....	88
5.4.	Caída de presión en la tubería. ....	90
5.5.	Presión total a desarrollar por la bomba.....	90
6.	Capítulo 6. Diseño del sistema aire comprimido para el funcionamiento del filtro prensa.....	94
6.2.1.	Fundamentos de la neumática.....	95
6.2.2.	Compresores .....	97
6.2.3.	Compresor de Pistón. ....	98
6.2.4.	Depósito de aire.....	100
6.2.5.	Tuberías.....	102
6.2.6.	Red de aire comprimido.....	102
6.2.7.	Planeamiento de una red de aire comprimido. ....	102
6.2.8.	Aplicaciones del aire comprimido. ....	103
6.3.	Metodología.....	104
6.3.1.	Calculo de la presión absoluta del sistema.....	106
6.3.2.	Calcula del caudal de diseño. ....	107
6.3.3.	Nuevo factor de ampliación .....	108
6.3.4.	Selección de diámetro de tuberías. ....	110
6.3.5.	Selección diámetro de bajantes.....	117
7.	Capítulo 7. Elaboración del programa de mantenimiento preventivo.....	124
7.1.	Marco teórico.....	125

7.1.1.	Estrategia y objetivos de mantenimiento. ....	126
7.1.2.	Estructura organizacional de mantenimiento. ....	126
7.1.3.	Flujo de gestión de mantenimiento. ....	127
7.1.4.	Planes de mantenimiento. ....	129
7.1.5.	Codificación de equipos. ....	130
7.1.6.	Equipos Críticos. ....	131
7.1.7.	Rutinas de mantenimiento preventivo. ....	132
7.1.8.	Historial de equipos. ....	132
7.1.9.	Ordenes de trabajo. ....	133
7.2.	Manual de mantenimiento preventivo para el filtro prensa. ....	133
7.2.1.	Introducción. ....	133
7.2.2.	Metodología empleada. ....	134
7.2.3.	Selección partes del equipo para el manual de mantenimiento. ....	135
7.2.4.	Estudio técnico del equipo. ....	136
7.2.5.	Codificación del equipo. ....	136
7.2.6.	Procedimiento de las inspecciones. ....	137
7.2.7.	Frecuencia de las inspecciones. ....	138
7.2.8.	Personal para efectuar el mantenimiento. ....	139
7.2.9.	Manuales de mantenimiento preventivo realizados. ....	139
8.	Capítulo 9. Recomendaciones y conclusiones. ....	140
8.1.	Conclusiones. ....	141
8.2.	Recomendaciones. ....	142
9.	Bibliografía. ....	143
10.	Anexos. ....	146
11.	Apéndices. ....	156

## INDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1. Estructura Organizacional. ....	21
Figura 1.2. Proceso de extracción de materia prima. ....	22
Figura 1.3. Sitio de extracción de materia prima. ....	22
Figura 2.1. Mecanismo de cierre. ....	31
Figura 2.2. Cabezal fijo y conexiones de tuberías. ....	31
Figura 2.3. Cabezal móvil del filtro. ....	32
Figura 2.4. Viga superior. ....	33
Figura 2.5. Placas y telas filtrantes del filtro. ....	34
Figura 2.6. Sistema transporte de placas. ....	34
Figura 2.7. Sistema de control eléctrico. ....	35
Figura 2.8. Sistema filtro prensado. ....	36
Figura 3.1. Movimientos de tierra. ....	43
Figura 3.2. Toba cemento realizada en el lugar de la obra. ....	44
Figura 3.3. Plano vista superior de la placa corrida y el muro en C. ....	46
Figura 3.4. Construcción del muro. ....	47
Figura 3.5. Obra gris en su fase final. ....	48
Figura 3.6. Montaje de vigas en el muro. ....	49
Figura 3.7. Pasarela construida en el taller. ....	50
Figura 3.8. Montaje de pasarelas. ....	51
Figura 3.9. Izaje del filtro prensa. ....	53
Figura 3.10. Cronograma de actividades montaje filtro. ....	54
Figura 3.11. Grafica de carga en el sistema eléctrico de la planta Ochoмого. ....	55
Figura 4.1. Esquema de los lagos que posee el quebrador. ....	64
Figura 4.2. Placa característica bomba ubicada en el lago B. ....	65
Figura 4.3. Esquema del ciclo del agua en el proceso de lavado. ....	66
Figura 4.4. Bomba centrifuga utilizada en el sistema de lavado de la planta. ....	67
Figura 4.5. Sistema del tanque espesador/clarificador. ....	69
Figura 4.6. Esquema para la medición de caudal entregado por las bombas de alimentación. ....	70

Figura 4.7. Esquema para la medición de caudal desechado del tanque espesador/clarificador. ....	72
Figura 4.8. Esquema para la medición de caudal entregado por el sifón hidráulico del lago C. ....	75
Figura 4.9. Esquema para la medición de caudal entregado por la bomba del filtro prensa. ....	78
Figura 4.10. Esquema para la medición de caudal entregado por la salida del filtro prensa. ....	79
Figura 5.1. Diagrama del proceso de alimentación de lodos del filtro prensa. ....	87
Figura 6.1. Sistema básico de un compresor de pistón. ....	98
Figura 6.2. Circuito de aire comprimido utilizado en el sistema de filtro prensado. ....	110
Figura 7.1. Ciclo de mejora continua. ....	125
Figura 7.2. Estructura organizacional de mantenimiento. ....	127
Figura 7.3. Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo. ....	128
Figura 7.4. Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo. ....	128
Figura 7.5. Cascada de planificación del mantenimiento. ....	130
Figura 7.6. Formato de rotulación de los equipos. ....	131
Figura 7.7. Sistema calificación de criticidad de equipos. ....	131

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1. Características del equipo filtro prensa. ....	37
Tabla 3.1. Especificaciones estructurales de la obra. ....	42
Tabla 3.2. Cubicado de la obra. ....	45
Tabla 3.3. Lista de material de acero a utilizar en el muro. ....	45
Tabla 3.4. Principales dimensiones de la maquina a izar.....	52
Tabla 3.5. Principales dimensiones de la maquina a izar.....	52
Tabla 3.6. Características del motor de la bomba de lodos.....	56
Tabla 4.1. Capacidad almacenamiento de los lagos. ....	65
Tabla 4.2 . Caudales entregados por bombas de alimentación.....	71
Tabla 4.3. Características de las bombas de alimentación. ....	71
Tabla 4.4. Caudal de lodos descartado del tanque espesador/clarificador. ....	73
Tabla 4.5. Pérdida diaria de agua sin el filtro prensa instalado. ....	74
Tabla 4.6. Caudal entregado por el sifón hidráulico del lago C. ....	75
Tabla 4.7. Capacidad de días que tarda el volumen agua en gastarse sin el filtro prensa instalado. ....	76
Tabla 4.8. Caudal entregado por la bomba hacia el filtro presa. ....	78
Tabla 4.9. Caudal de la bomba entrada y salida del filtro presa.....	79
Tabla 4.10. Datos relevantes en el funcionamiento del filtro prensa ....	80
Tabla 4.11. Pérdida diaria de agua con el filtro prensa instalado. ....	81
Tabla 4.12. Capacidad de días que tarda el volumen agua en gastarse con el filtro prensa instalado. ....	81
Tabla 5.1. Detalle de la cantidad, altura de alimentación, presión mínima y caudal requerido por el equipo filtro prensa. ....	87
Tabla 5.2. Calculo y selección de diámetro para la tubería el sistema filtro prensado. ....	89
Tabla 5.3. Calculo caída de presión en tramo principal.....	90
Tabla 5.4. Calculo presión total en la descarga.....	91
Tabla 5.5. Calculo presión total en la succión. ....	92
Tabla 5.6. Características de la bomba seleccionada. ....	93

Tabla 6.1. Puntos de consumo de aire comprimido del filtro prensa. ....	105
Tabla 6.2. Características del compresor a comprar. ....	109
Tabla 6.3. Lista de caudales en cada tramo del circuito de aire comprimido. ....	111
Tabla 6.4. Calculo de selección de tuberías para el circuito de aire comprimido.	117
Tabla 6.5. Calculo de selección de bajantes para el circuito de aire comprimido. .....	122
Tabla 7.1. Personal Requerido.....	139

## 1. Capítulo I. Introducción.

---

## **1.1. Descripción de la empresa.**

### **1.1.1. Antecedentes de la empresa**

Esta empresa inicio con el nombre de Quebrador Ochomogo S.A. Su dueño era Don Rigoberto Zúñiga Meoño, el 9 de noviembre de 1970, él implantó la extracción, con palas, bangos y con cargadores que lavaban el material en el río, para luego zarandearlo en un criba de gravedad y separar las piedras de la arena para ser trituradas, mientras que la arena se vendía en el sitio.

Con la llegada de Productos de Concreto a partir de 1991, se trazó un plan de explotación que consistía en reducir el riesgo de desprendimientos masivos de material que pongan en peligro la vida de los operadores, y a la vez, crear un espacio más ancho en el cauce del río para albergar más material en caso de eventuales deslizamientos.

Esta empresa el 1 de noviembre de 1991 cambio de dueños y paso a formar parte de Holcim, hasta el 30 de junio del 2012. Luego nace la inquietud en el Ing. Jorge Vásquez por iniciar su propio negocio y coincide, lo anterior, con la necesidad que se plantea Holcim para concentrar sus esfuerzos en aquellas actividades que le son más afines a su actividad cementera y el propósito estratégicos del área de agregados.

Es así como surge la posibilidad de comprar la operación de agregados Ochomogo, la cual se hace efectiva a partir del primero de Julio del 2012. La adquisición permitió conservar en la operación el activo más valioso, su gente, y es así como el 90% del personal operativo decidió permanecer y contribuir con su conocimiento y experiencia en el éxito de este nuevo proyecto.

Ahora la empresa se llama Quebrador Ochomogo Limitada, arrancando labores el 1 de julio del 2012 hasta la fecha.

Actualmente la materia prima proviene de un depósito compuesto por una matriz arena-arcillosa con bloques de piedra de hasta cinco metros de diámetro. El

quebrador produce arena industrial, piedra cuarta, piedra cuartilla, polvo de piedra, base granular, sub-base granular, grava, arena fina. Es una de las empresas líder de la provincia de Cartago, gracias a su larga trayectoria y capacidad de producción, 600 m<sup>3</sup> por día.

A continuación se describe la filosofía corporativa de la empresa, a saber, la declaración de la misión y de la visión que evidencian un concepto de empresa en armonía con la naturaleza, entre otras características.

### **1.1.2. Misión**

“Suministrar agregados de calidad y asegurar la limpieza del cauce del río Reventado generando un impacto social y ambiental positivo en la provincia de Cartago.”

### **1.1.3. Visión**

“Ser reconocidos por nuestros clientes y grupos de relación como un empresa modelo por su servicio, clima laboral y excelencia en su desempeño operacional y ambiental.”

### **1.1.4. Valores**

- a. Servicio:** practicamos día con día una actitud de colaboración, de apoyo y respeto por atender las necesidades de nuestros clientes internos y externos. Tenemos un trato cordial y respetuoso con todas las personas con las que nos relacionamos.
- b. Desempeño:** Buscamos la excelencia en todo lo que hacemos, usando nuestro conocimiento para optimizar el uso de los recursos y aprovechamos al máximo la tecnología. Estudiamos y analizamos los problemas en equipo, buscando la participación de todos los colaboradores, desarrollando sus ideas y reconociendo el desempeño individual.
- c. Integridad:** Somos fieles a nuestros principios.

**d. Compromiso:** Creemos en lo que hacemos, en nuestro trabajo y estamos dispuestos a dar más porque nos nace del corazón. Trabajamos con alegría.

#### **1.1.5. Número de Empleados**

El propietario se ha preocupado en brindar trabajo dando prioridad a las personas que decidieron permanecer trabajando con Ochomogo Limitada, la empresa actualmente tiene 24 puestos, de los cuales 8 son administrativos y 16 operativos.

Entre los puestos los cuales podemos citar están el encargado de la planta, el encargado del taller, los encargados de maquinarias, el encargado de bodega, de limpieza, ventas, recursos humanos, secretaria, el gerente general, entre otros.

De cada puesto que existe en la organización, una familia costarricense es beneficiada, gracias a la remuneración que recibe el empleado por su labor. En la actualidad se estima que cada familia está integrada por 4 miembros, es decir por cada puesto que existe se benefician 4 personas, en total serian 96 personas beneficiadas por el funcionamiento de la empresa.

#### **1.1.6. Compromiso Ambiental de Seguridad**

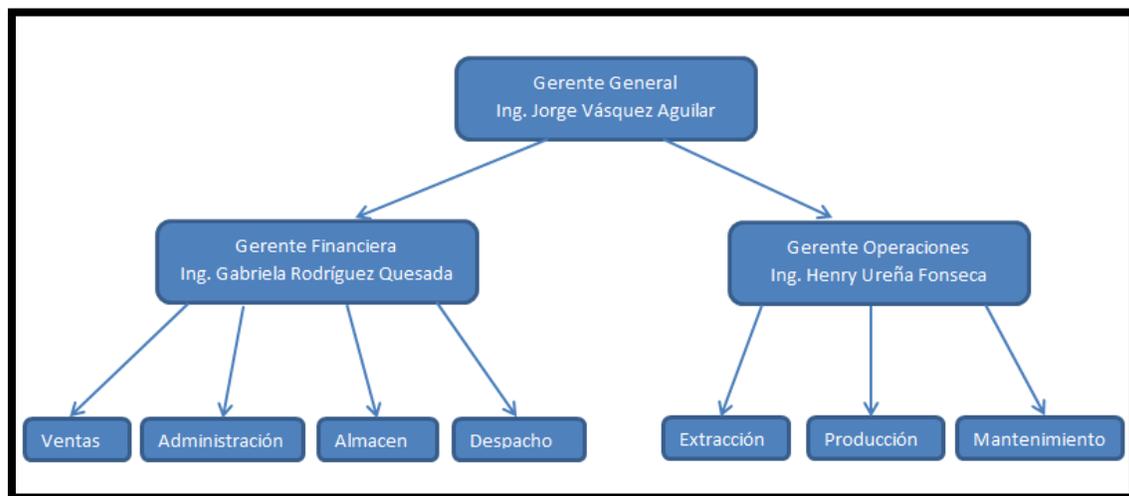
Cuando se habla del Quebrador Ochomogo Ltda, también se habla sobre el deslizamiento de Banderilla el cual se ubica aproximadamente a 2.5 km al norte de la ciudad de Cartago, en la margen izquierda del Río Reventado, entre las cotas 1600 y 1800 m.s.n.m. Comprende una secuencia de materiales laháricos depositados sobre una colada de lava local en la cual se deslizan.

Noticias de este deslizamiento se tienen desde el siglo XIX, según información recopilada por el geólogo Giovanni Peraldo, pero es hasta 1963 luego de un periodo eruptivo del volcán Irazú y una semana de fuertes lluvias que su movimiento se tornó continuo y su importancia se magnificó.

Esto es importante porque de ahí de donde se extrae la materia prima de la empresa. La estrategia de explotación que se da precisamente, para controlar el avance de dicho fenómeno natural y preservar la cuenca del río Reventado libre de cualquier taponamiento y evitar futuros desastres causados por avalanchas como en épocas anteriores.

### 1.1.7. Estructura Organizacional

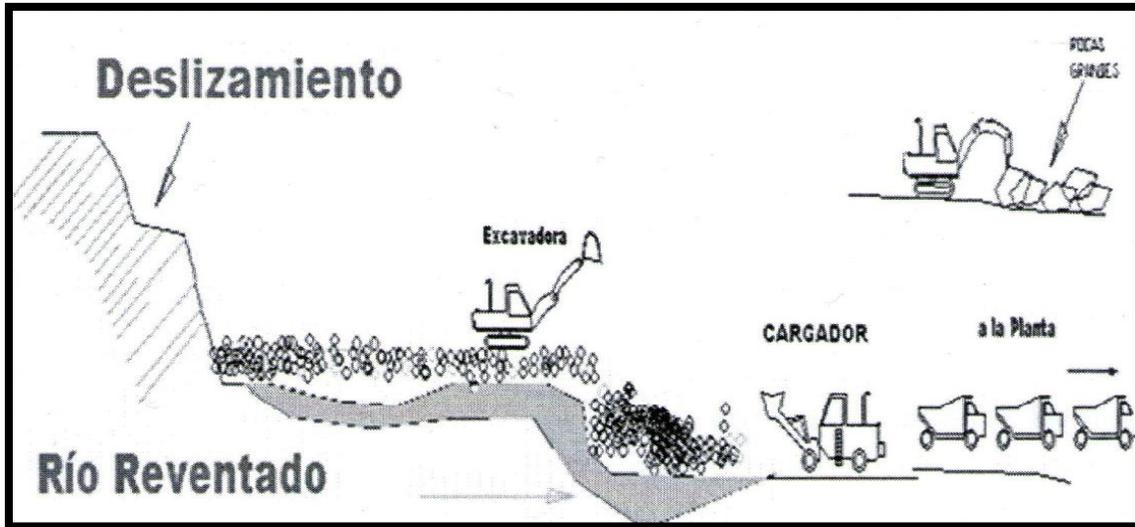
El quebrador Ochomogo posee una estructura organizacional relativamente simple, la cual se muestra a continuación.



**Figura 1.1.** Estructura Organizacional.

### 1.2. Proceso Productivo

La principal fuente de abastecimiento del Quebrador Ochomogo se da en el deslizamiento de banderilla en Cartago, ya que la materia prima es suministrada por el deslizamiento. Dicha materia prima proviene de un depósito aluvialahárico compuesto por una matriz arenosa con bloques de piedra de hasta cinco metros de diámetro. La línea de explotación es precisamente, el frente de avance de dicho fenómeno natural, como se destaca en la Figura 1.1 y se muestra en la foto de las Figura 1.2.



**Figura 1.2.** Proceso de extracción de materia prima.



**Figura 1.3.** Sitio de extracción de materia prima.

La arena, la piedra molida y la grava son usadas comúnmente como agregados para la elaboración del concreto. Existen dos formas para obtener los agregados: la primera es recolectarlo de los lechos de los ríos donde generalmente se depositan, y la segunda es en canteras. En el caso de

Ochomogo se hace una combinación de extracción del material que arrastra el río y la presencia del deslizamiento.

En el Quebrador Ochomogo, el proceso de producción de agregados se inicia en la cantera, esta se divide en una zona de niveles, separado por niveles casi verticales. Los pedazos de roca se recogen con la excavadora, y cargadores de rueda, que depositan el material en vagonetas para su transporte a la planta de procesamiento.

En la planta de procesamiento se realiza una clasificación preliminar de las partículas por tamaño para mejorar la eficiencia del proceso de trituración o para crear productos específicos. Posteriormente se pasa los diferentes tipos de piedras a la trituradora, que como su nombre lo indica tritura la roca para crear partículas más pequeñas.

Después el material pasa al proceso de lavado con ayuda de un tambor para separar el material arenoso de las arcillas y también lavar las piedras trituradas, seguidamente se da un proceso de graduación (clasificación) realizado por un cribado donde se clasifica por tamaños.

El agua sucia que sale del tambor se le llama pulpa, la cual se pasa por un hidrociclón para separar las partículas más grandes de esta y así obtener lo que se llama arena lavada, en este punto solo se desechan las partículas que estén por debajo de la malla #200. Las piedras que fueron trituradas pasan a una pila pulmón para ser trituradas y clasificadas nuevamente en los diferentes productos que ofrece el quebrador.

El agua usada para lavar y reducir la emisión de polvo es reciclada haciéndola pasar por un proceso de eliminación de residuos en el cual se quita el lodo. Estos procesos permiten a las plantas reducir las emisiones de polvo y el consumo de agua. Finalmente el producto queda listo para el despacho a los clientes.

### **1.3. Definición del problema.**

El agua utilizada en todo el proceso es de suma importancia para la empresa, el principal problema radica en que se desperdicia mucha agua que no se puede reutilizar, generando problemas sobre todo en los meses donde las lluvias escasean y el agua recolectada del río reventado disminuye.

Aparte del desperdicio del agua, hay momentos en la producción que el material de la cantera llega demasiado arcilloso y el proceso de floculación utilizado en el tanque de sedimentación para aclarar el agua, no puede hacer que las partículas arcillosas precipiten al fondo del tanque, este problema detiene la planta perdiendo horas de producción.

Por esta razón se pretende instalar y poner en marcha un sistema de filtro prensado para lograr un tratamiento adecuado y óptimo del agua en la planta del Quebrador, donde se realizará el montaje, civil, mecánico y de automatización.

Desde el fondo tanque de sedimentación se diseñara una instalación que permita la conexión del tanque con el filtro prensa, en donde una bomba trasegara el material y lo ingresara al filtro de la máquina.

El filtro separara las partículas sólidas de las líquidas, la parte sólida caerá en un lugar adecuado donde un tractor la recogerá y le dará su uso. Mientras que el líquido regresara al tanque de sedimentación para volver a ser filtrado pero otra vez con partículas sólidas.

### **1.4. Justificación del Proyecto.**

El proyecto de la instalación del filtro prensa resulta de fundamental para la empresa desde el punto de vista económico, ambiental y eficiencia en la extracción de agregados. Por lo tanto las razones principales del porque este proyecto debe realizarse se describirán a continuación.

- a. Disminuir el impacto ambiental producido por el desperdicio del agua.

- b. Disminuir el gasto en floculantes que resultan en un gran gasto para el quebrador actualmente.
- c. Aumentar los niveles de producción de la planta a través de una filtración eficiente del agua de la planta.
- d. Reducir pérdidas de dinero, sobre todo en verano donde la producción se ve afectada por el problema de la disminución del agua.

Se espera que luego de todo el proceso de estudio, instalación y puesta en marcha, el equipo deba de ir siendo ajustado, para una adecuada optimización del proceso. Finalmente el sistema funcionará de manera autónoma y siendo lo más eficiente posible.

## **1.5. Objetivos.**

### **1.5.1. Objetivo General.**

- a. Instalar un sistema de filtro prensa mediante cálculos de montaje eléctrico, mecánico e hidráulico para la optimización del agua en el Quebrador Ochomogo LTDA.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- a. Calcular la capacidad de almacenamiento de agua de la empresa y los requerimientos de demanda, mediante cálculos de caudal y volúmenes para el estudio actual del sistema.
- b. Seleccionar los equipos necesarios y accesorios en tuberías mediante cálculos hidráulicos para lograr el control efectivo del sistema de filtrado.
- c. Realizar los cálculos para el sistema de aire comprimido mediante equipos de medición necesario para la operación de la maquina filtro prensa.

- d. Verificar y gestionar el montaje mecánico, estructural y eléctrico mediante planos constructivos para realizar la instalación segura del equipo.
- e. Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo utilizando técnicas de mantenimiento y rutinas para asegurar el funcionamiento óptimo del filtro prensa.
- f. Cuantificar el impacto económico del filtro prensa comparando el gasto de agua antes y el obtenido después de su instalación.

### **1.6. Alcances y limitaciones del proyecto.**

El proyecto de instalación del filtro prensa es de suma importancia para el quebrador Ochomogo LTDA, es un proyecto que viene en fase de preparación desde hace seis meses, por lo que se planea realizar el primer semestre del 2015 independientemente a las otras actividades del quebrador.

El presupuesto de este proyecto es bastante grande, muchos de los principales recursos de la empresa van dirigidos hacia este proyecto, sin embargo no todo es positivo, uno de los obstáculos que se podrían presentar es la falta de personal con que cuenta la empresa, que resulta ser el mínimo para este tipo de actividad. Además la experiencia del personal en este tipo de maquina es nula, aunque se espera que en algunas trabajos muy especializados se contrate personal calificado en estas áreas, de ser así posible.

El alcance del proyecto irá desde el levantamiento de planos del sistema actual de trasiego de aguas y así como también el diseño de sistema de tuberías de aire comprimido y de aguas, hasta la instalación y calibración del equipo, también un plan de mantenimiento preventivo por medio de rutinas y técnicas de mantenimiento. Se entregaran planos de tuberías, informes de cálculos realizados durante todo el proyecto y por supuesto un manual de mantenimiento preventivo que cumpla las pautas necesarias para una buena gestión de mantenimiento.

## **1.7. Metodología general de la obra a instalar**

A continuación se mostrara la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto:

a. Recolección de información.

Se recopilará información en el sitio donde se hará el montaje del equipo, en este paso se buscará la información competente del consumo de agua real que maneja actualmente el quebrador. Aquí se medirá el provecho que se tiene del agua para después compararlo contra la instalación del filtro prensa.

b. Verificación de planos entregados y levantados previamente.

Esta sección es de suma importancia para así conocer en donde se encontrará cada equipo, longitudes de tuberías, diámetro y cantidad de accesorios. Se estudiará los planos recibidos y se verificara si todo está correcto.

c. Consumo y cálculos de diseño necesarios de los equipos.

Para el cálculo de la instalación se trabajará la parte eléctrica, mecánica y civil con los consumos teóricos y luego comparándolos con los reales.

Se calculará los datos de diseño necesarios para la puesta en marcha del equipo que luego se verificaran con los cálculos teóricos, estos datos teóricos pueden ser suministrados por la información que cuentan los equipos o mediante los mismos proveedores.

d. Interpretación de los datos obtenidos.

En este paso se analizarán los datos arrojados en la medición de consumo y se comparará con los valores teóricos lo que permita establecer puntos de análisis para poder discernir de la mejor manera.

e. Selección de equipo y materiales requeridos.

Aparte de los equipos ya comprados se cotizará a proveedores sobre materiales para la instalación, ya sea tuberías y bombas necesarias para el trasiego del material y demás elementos que se vayan a utilizar.

f. Instalación del sistema.

Con todos los permisos, cálculos y diseños aprobados se comenzará con la instalación del equipo en la zona ya establecida previamente.

g. Puesta en marcha

Se pondrá en marcha el equipo para probarlo y verificar que todo funcione bien, se tomarán los nuevos valores de consumo real de agua y llevar un seguimiento para luego compararlo con el que existía anteriormente.

h. Realizar un plan de mantenimiento preventivo.

Para esta sección se realizará un manual para el equipo ya instalado que permita evaluar las condiciones del sistema periódicamente y saber cuál procedimiento se debe seguir en caso de algún indicador.

i. Análisis del impacto económico del proyecto.

Aquí se analizará el aprovechamiento que se obtiene tanto de agua como de material en comparación al que se tenía antes, y traducir esto en números para observar la ganancia obtenida.

## **2. Capítulo II. Sistema filtro-prensado.**

---

## **2.1. Equipo Filtro Prensa**

Los filtros prensa son equipos destinados a la deshidratación de lodos procedente del lavado de áridos y minerales, previamente espesados en un tanque espesador. Es un filtro especialmente utilizado para separar grandes volúmenes de sólidos y líquidos por medio de una filtración por presión. Su capacidad permite deshidratar sólidos hasta obtener un 65% por peso de los lodos compactados.

Un filtro prensa sigue siendo una de las mejores opciones cuando se desea obtener:

- a. Alto grado de separación, con muy buena captación de sólidos.
- b. Alto contenido de sólidos en la torta.
- c. Concede buenas posibilidades de eliminación de compuestos solubles.
- d. Operación sencilla y fiable.
- e. Equipo de larga vida.

## **2.2. Elementos Básicos.**

### **2.2.1. Bastidor**

Es el soporte estructural del filtro. A su vez está conformado por los siguientes elementos:

- a. Mecanismo de cierre.

Utiliza un sistema electrohidráulico con bomba hidráulica de doble etapa que acciona uno o más cilindros de doble acción.



**Figura 2.1.** Mecanismo de cierre.

b. Cabezal fijo.

Constituye el otro extremo de la prensa y va provisto de las conexiones de las tuberías al filtro.



**Figura 2.2.** Cabezal fijo y conexiones de tuberías.

Se construye en fundición o chapa electro-soldada, soportándose sobre apoyos mediante patas de unión rápida o articulada y rodillo para permitir la adaptación del paquete filtrante.

c. Cabezal Móvil.

Transmite la fuerza de cierre sobre el paquete filtrante, alojando, en ocasiones, el resto de conexiones externas del filtrado. Se construye en fundición o chapa de acero.



**Figura 2.3.** Cabezal móvil del filtro.

Se soporta y se desplaza sobre la viga superior mediante pastillas de deslizamiento o rueda con elementos de nivelación.

d. Viga superior.

Constituye el elemento de conexión entre los cabezales extremos de la prensa, alas que van unidas de forma rápida o articulada, y sirven de apoyo o soporte al paquete filtrante.



**Figura 2.4.** Viga superior.

### **2.2.2. Paquete filtrante.**

Sobre cuyos elementos se produce el proceso de separación sólido líquido y está constituido por:

a. Placas Filtrantes.

Conforman las cámaras donde se retiene y forma la “Torta”. Esta cámara es de espesor fijo ésta puede formarse por medio de placa plana y marco; o más habitualmente, por medio de un rebaje efectuado en la propia placa.

b. Telas Filtrantes.

Realizan la primera separación, dando lugar a la formación de la pre-capa sobre la que continúa realizándose la filtración, determinando el nivel inicial de corte realizado en la filtración.

En la filtración a altas presiones, se utilizan a veces telas, soporte de las propias telas de filtración, que favorecen la evacuación del filtrado y mejoran la vida de la propia tela filtrante.



**Figura 2.5.** Placas y telas filtrantes del filtro.

### **2.2.3. Equipo Auxiliar.**

#### **a. Sistema transporte automático de placas.**

Realizan la apertura y desplazamiento de todas y cada una de las placas para la descarga de la torta. Se compone de doble sistema de pinzas sobre cadena que sujeta cada placa por ambos laterales a la altura de su punto de apoyo.



**Figura 2.6.** Sistema transporte de placas.

El accionamiento se realiza mediante motor eléctrico con velocidad y par regulable mediante movimiento de vaivén de la pinzas, recogiendo una placa y trasladándola hacia el cabezal móvil desplazado.

b. Control eléctrico.

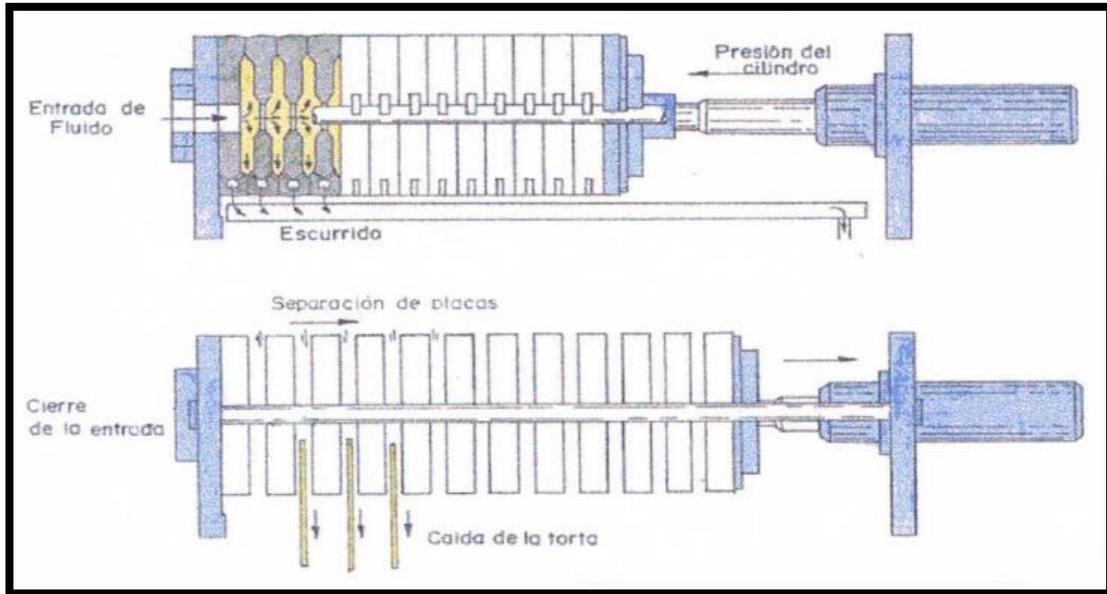
Dada la alta fiabilidad de los nuevos sistemas electrónicos, el control se realiza, en la mayor parte de los casos, a través de elementos de Control Lógico Programable (PLC) requiriendo habitualmente la confirmación de cada orden previamente a la ejecución siguiente.



**Figura 2.7.** Sistema de control eléctrico.

### **2.3. Funcionamiento.**

El principio del Filtro Prensa está basado en el hecho de que la presión necesaria para la filtración se distribuye uniformemente dentro del sistema. El filtro prensa está formado por una cabeza móvil que ejerce la presión entre las placas y otro fijo por el que penetra el líquido fangoso a una determinada presión. Entre ambos se sitúan las cámaras, formadas por placas y marcos o por placas con cámara incorporada según muestra la figura 2.8.



**Figura 2.8.** Sistema filtro prensado.

Los lodos previamente decantados en un tanque clarificador/espesador y con una concentración del 40-50% de sólidos se bombean al filtro prensa mediante una bomba que va aumentando progresivamente la presión de alimentación hasta conseguir la presión de filtración requerida entre 600 kPa y 1000 kPa.

Las placas se cubren con tejidos filtrantes, que en los marcos de las mismas hacen de juntas de estanqueidad y en el centro forman un conjunto de espacios huecos, que se alimentan con la suspensión a filtrar mediante una bomba.

Mediante un dispositivo de cierre hidráulico se mantienen en compresión las placas merced al cabezal móvil, mientras a través del cabezal fijo se inyecta a presión el líquido que discurre entre las placas a través de un hueco central abierto en las mismas, formándose un conducto continuo por el que la solución fangosa va filtrándose a las cámaras, formando el volumen de las tortas.

El agua filtrada pasa a través de unos orificios de drenaje previstos en la parte inferior de las placas y es evacuada individualmente en cada placa hasta un canal exterior de recogida, en el que se mantiene un determinada volumen. A medida que se va secando la torta de fango, el caudal de filtrado disminuye hasta un

mínimo, entonces un dispositivo eléctrico interrumpe la bomba, de forma que se interrumpe el flujo.

Una vez despresurizado el sistema el cilindro de presión se desplaza, merced al espacio libre creado por la carrera de apertura, separándose las placas, hasta haber entre ellas unos 60 mm de separación, en ese momento se acciona un motor que hace girar un sistema de transporte de placas con la acción de pinzas y cadenas, las cuales actúan sobre las manguetas de las placas filtrantes colaborando a que la torta se desprenda totalmente.

#### **2.4. Instalación.**

La instalación general de un sistema filtro prensa depende directamente de qué lugar succionara la bomba el lodo a filtrar, en cuyo caso este filtro puede alimentarse directamente desde un clarificador/espesador de lodos, o bien desde un tanque de almacenamiento intermedio, que confiere al sistema una mayor independencia.

El filtro se instala normalmente elevado sobre unos pedestales de hormigón de manera que las “tortas” de lodos caen directamente al suelo donde se almacenan. Eventualmente las tortas pueden ser recogidas por un cargador de ruedas o de ser necesario por un sistema de transporte de bandas en dado caso el filtro estaría a baja altura.

#### **2.5. Características equipo que se va a instalar.**

A continuación algunas características del filtro prensa a instalar.

**Tabla 2.1.** Características del equipo filtro prensa.

<b>Descripción</b>	
Marca	Rittershaus & Blecher
Modelo	R-1200/94
Numero cámaras	93
Tamaño de placas	1,2 x 1,2 m

Presión operación	6-10 bar
Presión máxima operación	12 bar
Volumen de cámaras	3 m <sup>3</sup>
Superficie de filtración.	208 m <sup>2</sup>
Peso	27 000 kg

El filtro prensa, como se puede observar en la tabla 2.1 es de marca R&B de procedencia alemana, es un modelo usado y reacondicionado, con un proceso semiautomático que posee un bastidor de placas colgantes, con un sistema de traslación de placas mediante cadena y un motor pequeño de 1,1 kW, crea una torta de espesor de 30 mm la cual resulta óptimo para el sistema que utilizara la compañía, también posee un dispositivo de cierre/apertura electro-hidráulico con pistón de doble efecto actuando sobre un plato de empuje móvil.

En la parte de anexos fuera de este documento de forma digital encontraremos los planos de medidas e instalación del equipo suministrado por la empresa ERAL. S. A., así también como alguna que otra característica que podría ser de interés del lector.

### **3. Capítulo III. Montaje civil y estructural de la obra.**

---

### **3.1. Introducción.**

En muchas ocasiones los problemas en mantenimiento y operación insatisfactoria de los equipos, se originan desde el momento mismo en la que se instalan o se ponen en marcha los equipos, esto indudablemente generan una baja duración y eficiencia de los equipos y sobretodo altos costos de mantenimiento.

Por esta razón resulta de gran importancia que al momento de instalar un equipo se haga siguiendo una planificación ideal, y que permita una adecuada gestión del proyecto para reducir en lo mínimo los costos y cualquier imprevisto que surja cuando comience su operación.

### **3.2. Transporte del filtro prensa.**

#### **3.2.1. Metodología llegada al país.**

El filtro prensa es de marca Rittershaus & Blecher de origen alemán, como se mencionó antes este filtro prensa es usado pero reacondicionado con las técnicas modernas de filtrado para poder cumplir a cabalidad los requerimientos que pide la empresa.

La oferta del filtro prensa fue suministrada por la empresa ERAL S.A. de capital español pero con sede en Chile, la cual se especializa en equipos para el procesamiento de minerales, en la oferta se incluyó, el conjunto de telas filtrantes, la central hidráulica para cierre de la prensa, y el armario de control para operación manual, de la central hidráulica y sistema de traslación de placas, con un precio total de \$ 200 000 dólares norteamericanos sin incluir los gastos del viaje y traída al país.

La coordinación de entrega de equipo en posición Ex Works (Santiago de Chile), este acrónimo se refiere a un incoterm o cláusula de comercio internacional, este término significa que el comprador se hace cargo de todos los gastos desde el momento de la entrega incluso de la carga del equipo.

Se contrató a la empresa AIMI logística para el transporte de la carga así como los trámites de importación del equipo al país. Se decidió utilizar el medio de transporte más barato, por vía marítima, saliendo desde Chile y cruzando el canal de Panamá para esperar su arribó y desembarcar en el puerto de Moin en Limón, tomándose un tiempo no mayor a un mes de duración el viaje.

Se prestó ayuda por parte de Eral para los trámites de seguros, licencias y autorización, también soportó los gastos de embalaje peso y otros coordinando con la empresa encargada de la importación, que luego fueron reembolsados (un valor aproximado de \$50 000) cuando el equipo llegó al país.

### **3.3. Metodología llegada a la empresa.**

La llegada del filtro prensa al país estuvo atrasada más de lo que se tenía pensado, al llegar al puerto de Limón se hizo los trámites necesarios para transportarla lo antes posible hacia la empresa, con ayuda de un lowboy, para facilitar el traslado.

Se planeó que al llegar desde Limón hasta su destino Cartago, que se utilizarían dos grúas cada una de 50 toneladas y otra de 65 toneladas, con la única función de levantar un poco la prensa y ponerla en el suelo mientras se continuaban los trabajos de la obra gris. Se revisaron todos los paquetes que se enuncian en la orden de compra para cerciorarse que todo estuviera en buen estado y en su debida caja.

### **3.4. Obra gris.**

La obra gris fue uno de los trabajos más importantes que se hicieron, resulta la estructura principal donde se colocara el filtro prensa y fue también el punto, donde se llevó más trabajo de gestión, por el trato con el personal ajeno a la empresa y las coordinaciones de las coladas junto con la empresa constructora.

Este trabajo debía ser de sumo cuidado ya que la maquina por su peso de 60 toneladas en funcionamiento, por lo tanto se producirán esfuerzos muy grandes en

la estructura, debía estar previsto para temblores y para choques o accidentes del cargador en el muro, manteniendo su integridad y la seguridad del filtro prensa.

### 3.4.1. Planos de construcción del muro.

La estructura que soportara el filtro prensa tiene que ser un diseño especializado para que soporte todos los esfuerzos que produzca la máquina y sobretodo mantener la seguridad de esta, por esta razón se contrataron los servicios del ingeniero Jorge Ruiz Munguía el cual cuenta con una amplia experiencia en materia de construcción y diseño civil.

El Ingeniero nos proporcionó las características que debía poseer el muro, junto con el material recomendado que se debía de utilizar, el diseño se hizo conforme las demandas que se pedían, pero siempre dentro del rango de un diseño seguro y confiable. Ver tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Especificaciones estructurales de la obra.

<b>Concreto</b>	Resistencia 245 kg/cm <sup>2</sup> para toda la obra
<b>Acero de refuerzo</b>	Acero grado 60, ASTM A-706, $f_y = 4200$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Recubrimientos mínimos del acero</b>	25 mm sobre NPT, 50 mm bajo NPT
<b>Acero estructural</b>	Angulares y láminas ASTM – A36
<b>Soldadura</b>	Tipo E7018 para acero ASTM A-36, A-53, A-500.

Los planos de la obra fueron hechos por el dibujante de la empresa con ayuda de las indicaciones del ingeniero Jorge Ruiz, estos planos estarán en formato digital en el disco acompañado por este documento para referencias de cualquier persona.

### 3.4.2. Movimientos del terreno.

Los movimientos de terreno se hicieron teniendo en cuenta primero un estudio previo del suelo, revisado esto con el geólogo de la empresa el señor

Gastón López, para dar el visto bueno del terreno y si las propiedades de este satisfacían los requerimientos necesarios para el inicio de la obra, es fundamental que el suelo esté libre de arcilla expansiva para evitar problemas al levantar la obra.

Se hicieron todas las pruebas y se concluyó que se podía comenzar a mover terreno, se realizó un rectángulo de 8 x 12 metros y una profundidad de 2 m para la preparación en donde trabajara la constructora de la obra gris, este proceso de movimiento de tierra lo podemos observar en la siguiente figura

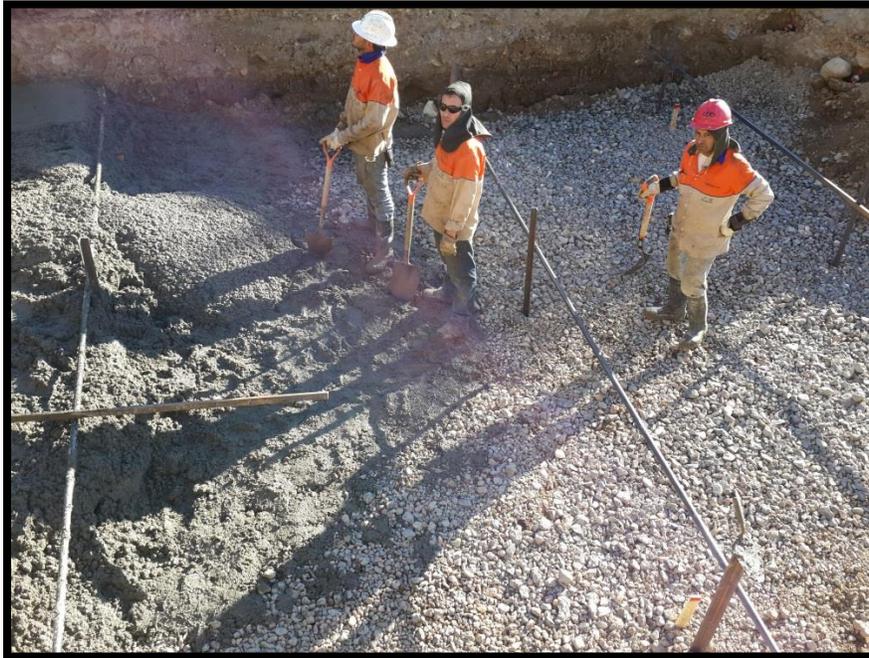


**Figura 3.1.** Movimientos de tierra.

Se contrató un topógrafo para nivelar el terreno, teniendo como referencia una de las bases fijas del tanque de sedimentación (figura anexo 1), ya teniendo esto claro se comenzó a lastrear el lugar y hacer una base (toba cemento) de 50 cm de espesor y una resistencia de  $28 \text{ kg/cm}^2$ .

Esta base tendrá sus especificaciones técnicas de dureza del concreto, que están en los planos proporcionados por el ingeniero estructural, como cálculo se

gastó aproximadamente 42 m<sup>3</sup> de concreto solo en esta fase, aquí será la base principal donde comenzara a levantarse el muro como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.2.** Toba cemento realizada en el lugar de la obra.

### **3.4.3. Compra de materiales.**

Al tener ya el terreno listo se contrató a la empresa constructora Calcons, asumiendo ellos el total de la mano de obra y costes de construcción y andamios; y por otra parte el quebrador la compra de material y la coordinación de las coladas de concreto.

Según las especificaciones se ocupaban varillas acero grado 60 de calibre #4, #3 y #6, que resultan un poco más caras que las normales, ya que posee resistencia a la fluencia mayor a lo normal. Otro factor importante es el concreto a utilizar, que se pide un cubicado aproximado con antelación a la obra. A continuación se muestran el cálculo de acero para la construcción y la cubicación de la obra.

**Tabla 3.2.** Cubicado de la obra.

<b>Superficie a cubicar</b>	<b>Volúmenes (m<sup>3</sup>)</b>
Placa corrida (245 kg/cm <sup>2</sup> )	21
Muro en C (245 kg/cm <sup>2</sup> )	36
<b>Total</b>	<b>57</b>

**Tabla 3.3.** Lista de material de acero a utilizar en el muro.

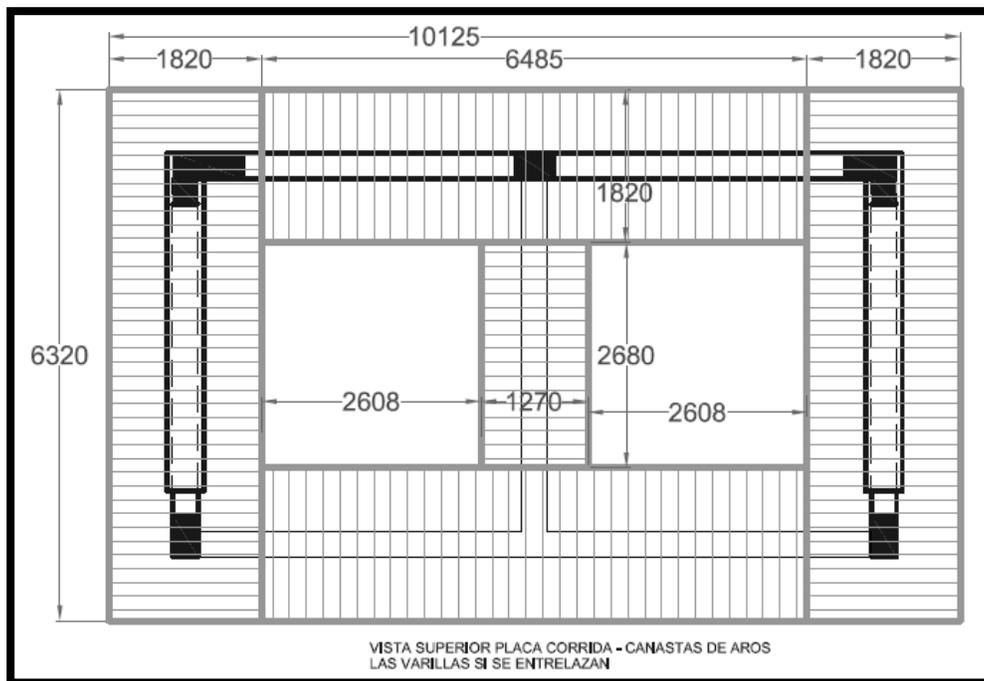
<b>Material acero del muro</b>	<b># 3 (m)</b>	<b># 4 (m)</b>	<b># 6 (m)</b>
Columna C1	290		170
Columna C2	290		105
Columna C3	85		30
Viga BB	75		12
Cabezal	250		65
Placa corrida 1-1	65	480	
Placa corrida 2-2 y VF	290	895	110
Placa corrida 3-3 y VF	95	260	36
Refuerzos del muro		390	
Malla		900	
Total en metros	1440	2925	528
<b>Cantidad de varillas</b>	<b>240</b>	<b>487</b>	<b>88</b>
<b>Cantidad varillas + 5%</b>	<b>252</b>	<b>511</b>	<b>92</b>

Se puede observar en la tabla 3.3 la cantidad tan exorbitante de varillas que se van a utilizar en la obra, también es bueno recalcar que se compraron otros materiales aparte del acero en varillas de construcción, como alfajillas, clavos, discos de corte, alambre negro, y madera en general. También el concreto el cual fue suministrado por Holcim, aquí la formula fue hecha por ellos según la resistencia solicitada previamente.

Los precios y materiales comprados se cotizaron en diferentes partes, sobretodo el acero que fue uno de los mayores gastos junto con el concreto, esta información lo podemos ver en los anexos 2, 3, 4 y 5.

#### 3.4.4. Levantamiento del muro.

El muro como se pueden ver en la figura 3.3 tiene una forma de C, con una placa corrida de cemento con cinco columnas y un entramado de varillas de acero grado 60 que refuerzan muy severamente el muro. Se tuvo en cuenta todos los detalles importantes estructuralmente hablando, el amarre de los aros de las placa y las columnas, el tipo de doblez en los aros, el traslape mínimo necesario en la doble malla de refuerzos, y todos estos puntos revisados junto con el ingeniero estructural antes de cada colada.



**Figura 3.3.** Plano vista superior de la placa corrida y el muro en C.

El muro se trabajó en cuatro etapas, la primera la placa corrida que va encima del toba cemento de 50 cm de espesor, con esta placa corrida (sirve como amarre de todo el armazón) lista se comenzó la segunda etapa de trabajo

comenzando con el muro en C, primero armando la estructura de acero y luego vertiendo la colada de cemento.

Así se continuó las demás etapas restantes solo que en este caso para verter el cemento fue necesario contratar una bomba telescópica y poder llevar el concreto a lugares más altos. La obra completada tardó aproximadamente mes y medio en finalizar, luego esperar entre 20 y 30 días a que el concreto tenga la dureza necesaria ( $245 \text{ kg/cm}^2$ ) para comenzar los trabajos de montaje del filtro.

Fue de suma importancia y casi un trabajo metódico lo que fueron las cotas medidas del largo del muro, estas medidas son fundamentales tenerlas bien claras y fijas antes de verter cualquier concreto, porque es precisamente la longitud que posee el filtro prensa y la que se debe de respetar continuamente, si esta no está correcta el filtro prensa quedara falseado y la obra gris no cumpliría su objetivo.

A continuación se muestra figura de la realización del muro.



**Figura 3.4.** Construcción del muro.



**Figura 3.5.** Obra gris en su fase final.

### **3.5. Obra estructura metálica.**

Teniendo ya la obra gris lista el siguiente paso es la obra estructura metálica, esta obra no tiene ninguna relación con el filtro en sí, ya que no recibe ningún esfuerzo por el peso de la máquina, las vigas metálicas y demás son solo para las pasarelas, para utilizar el equipo y para el mantenimiento de este en caso de daños. También están otras placas embebidas en el muro, pero que son aparte de la estructura metálica principal, estas son solo para sostener y poder soldar la estructura al muro.

#### **3.5.1. Planos constructivos de la estructura.**

Los planos correspondientes a la obra metálica fueron hechos con el aval del ingeniero estructural, con las especificaciones y el material necesario que se ocuparía para montar primero las vigas y luego las pasarelas, en este punto el diseño se hizo de forma conjunta con el quebrador, ya que por ser en si una estructura metálica sencilla, no poseía mayor problema.

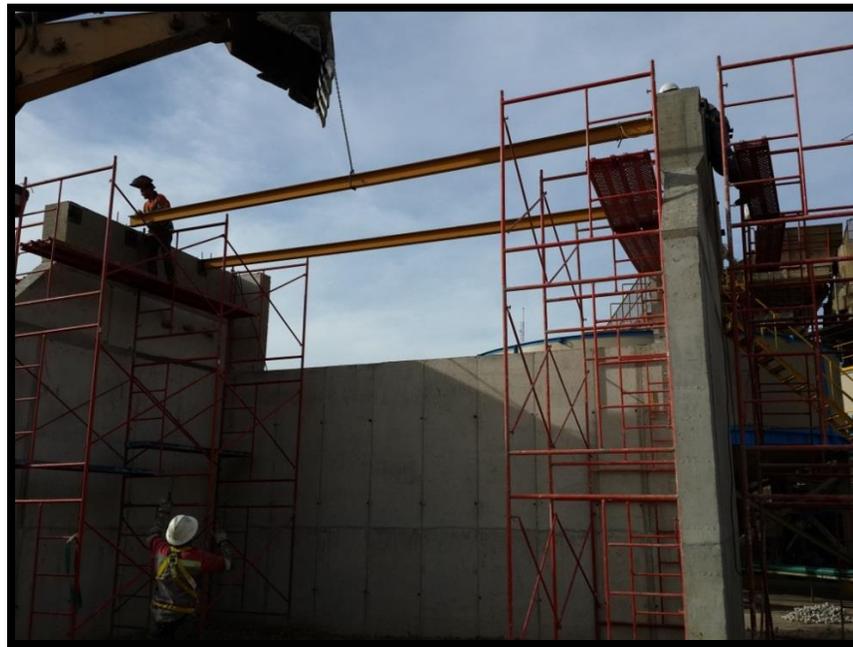
Los planos correspondientes a este apartado se pueden encontrar de manera digital en disco donde está el documento.

### **3.5.2. Compra de materiales.**

Según planos de construcción se compraron vigas WF 6x16 según norma ASTM 572 G50 con una longitud 12 m de, estas sirvieron como soporte para las pasarelas, en el caso de las pasarelas se utilizaron vigas perfil en C de 4x2 pulg y de 3x1,5 pulg, junto con las mallas antideslizante para el piso, también podemos indicar que se utilizaron tuberías metálicas tanto redonda como cuadradas en diferentes diámetros. Los precios y materiales comprados los podemos ver en el anexo 5 y 6.

### **3.5.3. Construcción de pasarelas.**

El montaje de las vigas WF se realizaron en el lugar de la obra gris, con ayuda de una excavadora se levantaron las vigas aproximadamente 6 m del suelo, para colocarlas en su posición, luego se soldaron a las placas incrustadas en el cemento, se utilizó soldadura E-7018 por ser flexible a esfuerzos constantes y por su resistencia mecánica de 70 ksi. En la siguiente figura se observa el montaje de las vigas.



**Figura 3.6.** Montaje de vigas en el muro.

En el caso de las pasarelas estas se construyeron en el taller para una mayor comodidad del soldador, se utilizaron las vigas en C de 4x2 pulg en el exterior de la pasarela y las vigas de 3x1,5 pulg en el interior de esta, al terminar fueron llevadas al sitio donde serían montadas, al igual que en las vigas se utilizó la soldadura E-7018, por ser esta la de mejores características en montajes de estructuras metálicas. Ver figura 3.7.



**Figura 3.7.** Pasarela construida en el taller.

#### **3.5.4. Colocación e instalación de pasarelas.**

La colocación de las pasarelas al igual que las vigas resulto ser un trabajo difícil y muy delicado de hacer, es necesario un nivel de coordinación para izarlas y ubicarlas en el lugar preciso donde tiene que ir para que todo calce. Al igual que todas las estructuras metálicas estas fueron soldadas con electrodo 7018 pero en ángulos intermitentes escalonados que proporcionan el agarre necesario de las pasarelas. Ver figura 3.7.

Las pasarelas van todas alrededor de la maquina por eso se hicieron en varios cuerpos el cual tuvimos que estar montando uno por uno, esto fue gracias a la ayuda de la excavadora que nos sirvió como grúa para montar las pasarelas sobre los 6 m de alto. Ver figura 3.8.



**Figura 3.8.** Montaje de pasarelas.

### **3.5.5. Seguridad en pasarelas.**

Las pasarelas cumplen todas las normas de seguridad para trabajar de manera segura en el filtro prensa, se les colocaron los rodapiés, se siguieron las normas de coloración de la estructura, así como lámina antideslizante para evitar resbalones y caídas.

### **3.6. Colocación del filtro prensa.**

#### **3.6.1. Guía de actividades para colocar el filtro.**

El montaje del filtro prensa al muro era un procedimiento sumamente complicado, se utilizaron 2 grúas cada una de 65 toneladas, la prensa va ubicada a una altura de 6 m sobre el suelo y el peso de esta generaba inquietud de cómo se podía levantar.

Aquí hay un punto importante a tomar en cuenta, izar una carga del tamaño del filtro prensa (~30 Ton), no es algo solo de hacerlo, hay que hacer estudios de la carga y de las fuerzas que podría generarse al levantarla. Es importante considerar, antes de realizar el levantamiento de cualquier tipo de carga, que se deben conocer sus dimensiones, de esta forma se puede comprobar si la

capacidad del equipo que se dispone para realizar la actividad, es la adecuada; además conocer las dimensiones del equipo permite, al personal encargado del levantamiento, verificar si el sitio de montaje fue construido correctamente.

**Tabla 3.4.** Principales dimensiones de la maquina a izar.

Ítem	Descripción	Modelo	Peso (kg)	Dimensiones
1	Filtro prensa	R-1200/94	25 000	9,4 x1,6 x 2,5

Se considera la carga total, más un porcentaje de seguridad del 10%; más un peso aproximado de 300 kg de aparejos de izaje , todo nos da una carga total con un peso aproximado de 27 800 kg. El peso total de la carga por levantar, no podrá exceder en ningún momento el 80% de la capacidad de la grúa, por lo tanto, es importante realizar un pequeño análisis de la relación peso – capacidad que existe entre la carga a levantar y la grúa disponible para ejecutar el levantamiento.

Para a llevar a cabo esta operación se utilizará dos grúa hidráulica con boom trapezoidal, telescópica de 4 secciones, marca Terex 65 toneladas. Las condiciones de operación a las cuales estará sometida durante la operación, se muestran a continuación.

**Tabla 3.5.** Principales dimensiones de la maquina a izar.

<b>Grúa Terex 65 Ton</b>			
<b>De la tabla capacidades de la grúa</b>		<b>Condiciones de operación</b>	
<b>Radio operación (ft)</b>	20	<b>Peso de la carga (kg)</b>	13900
<b>Pluma (ft)</b>	45		
<b>Capacidad (kg)</b>	46 000	<b>Relación capacidad</b>	30,22 %
<b>Capacidad (Lb)</b>	70 547		

El radio de operación se elige analizando el lugar donde se debe posicionar la grúa para levantar los equipos y el lugar donde debe colocar la carga. Como se utilizaran 2 grúas, cada una levanta la mitad del peso del filtro que en este caso como lo indica la tabla 3.5 será de 13 900 kg. En ningún momento se excederá el 80% de la capacidad nominal de la grúa, ya que el porcentaje de la relación peso-capacidad es del 30,22 %.

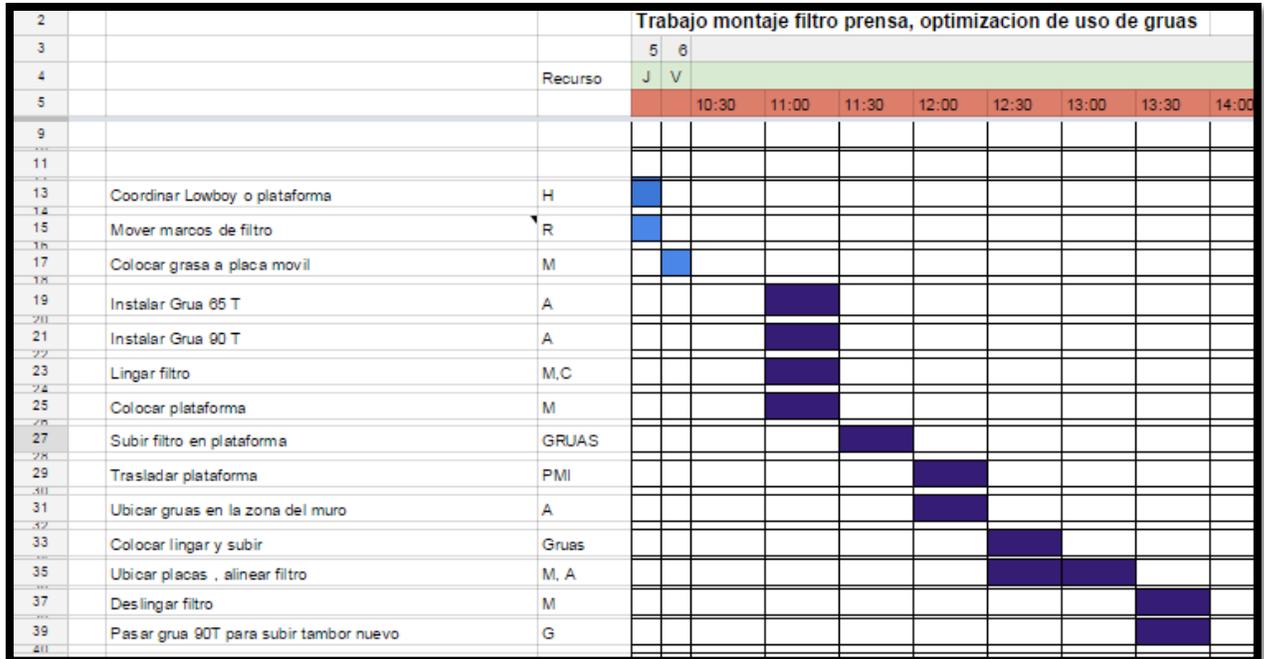
Con este análisis se podría pensar porque no solo se utilizó una grúa para hacer el montaje, el problema está en la maniobrabilidad al izar la máquina que una sola grúa no podría hacer y que lo especial del equipo ocupa que la colocación sea depurada, por esta razón se usaron las dos. Ver figura 3.9.



**Figura 3.9.** Izaje del filtro prensa.

Luego de supervisar las eslingas y el izaje, se procedió a realizar el levantamiento de forma lenta hasta lograr sentar el filtro en los dos muros laterales de la obra gris. Siempre se tuvo en cuenta una guía de actividades para optimizar las grúas ya que su valor aumentaba según el tiempo que durara la instalación de la prensa en su punto final.

A continuación se muestra el cronograma de actividades y el momento en que el filtro fue levantado.



**Figura 3.10.** Cronograma de actividades montaje filtro.

### 3.7. Conexiones de tuberías, aire comprimido y accesorios.

Los cálculos de tuberías de lodos y aire comprimido se harán en capítulos posteriores, se encontraran resúmenes, datos, premisas necesarias y todo lo relacionado al diseño que ocupa el filtro prensa. En los anexos también estarán datos relevantes y cotizaciones hechas en compra de materiales.

### 3.8. Automatización del filtro prensa.

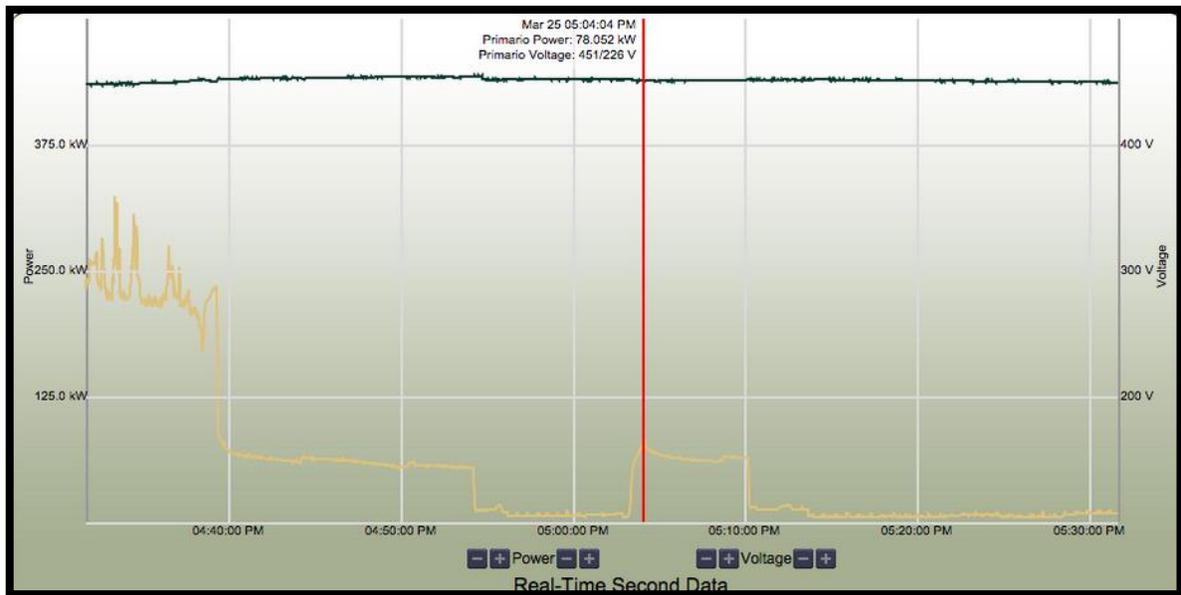
#### 3.8.1. Estudio de carga agregada del sistema.

En el quebrador Ochomogo se utilizan motores de gran amperaje y de mucha potencia eléctrica, por esta razón se respetan los horarios de hora pico para que la factura eléctrica no se tan elevada, las horas de trabajo de la planta van de 6 am hasta las 10 am y de 1 pm a 5pm de la tarde.

La empresa posee un medidor de potencia y voltaje en tiempo real, en donde podemos ver el consumo de potencia en cualquier día y momento específico. Si vemos la figura 3.11, el pico de potencia normalmente rondas los

300 kW y un voltaje continuo de 440 V, al encender el filtro prensa este consume con todos los equipos un total de 78 kW.

Si al trabajar la prensa junto con la planta, la suma nos da un total de 385 kW el cual no resulta ningún problema para el transformador presente en la planta que es uno de 500 kW por lo que agregar al filtro prensa a la red no es contraproducente.



**Figura 3.11.** Grafica de carga en el sistema eléctrico de la planta Ochomogo.

### 3.8.2. Acometida necesaria.

El sistema de filtro prensa posee varios motores que consumen corriente y sobretodo energía, el motor más importante es el de la bomba de lodos, después están los más pequeños, como la bomba de sello, la bomba del pistón hidráulico y el motor que traslada las placas filtrantes.

Para motores de velocidad variable como en el caso de la bomba de lodos, la selección de los conductores del circuito ramal del lado del suministro, se debe basar en la mayor de las corrientes a plena carga en que va a operar el motor mientras que la selección de los conductores del circuito ramal entre el controlador o variador de frecuencia y el motor, se debe basar en la corriente nominal del

devanado o devanados energizados para esa velocidad o la menor velocidad de trabajo que es la corresponde a la mayor corriente de trabajo. Por lo tanto

**Tabla 3.6.** Características del motor de la bomba de lodos.

<b>Marca</b>	<b>WEG</b>
<b>Modelo</b>	CT-390
<b>Potencia (kW)</b>	51,8
<b>Voltaje (V)</b>	0,87
<b>Corriente (A)</b>	84
<b>Velocidad nominal (RPM)</b>	1775

La corriente a la menor velocidad genera un pico de 120 A por el esfuerzo de la bomba al succionar el lodo, este valor debe tener un valor de seguridad, y con el resultado se elige el calibre adecuado de cable a usar. El desarrollo es el siguiente:

$$I_{pc} = 120 * 1,25$$

$$I_{pc} = 150 A$$

Donde,

$I_{pc}$  = corriente a plena carga en amperes.

1,25 = factor de ampliación a 25%.

Utilizando las tablas del código eléctrico nacional (NEC) tabla 310-16 que se puede consultar en el anexo 7 el calibre adecuado para un cable tipo THHN y una corriente a plena carga de 150 A podemos utilizar un cable calibre 1/0. Esta acometida aunque solo está calculada en función del motor, también alimentara el panel de control de los demás equipos auxiliares (tres motores) pero que comparados al consumo del motor de la bomba son despreciables.

### **3.8.3. Planos instalación eléctrica del filtro.**

Los planos de la instalación del filtro fueron proporcionados por la empresa ERAL- Chile, en donde indicaban las conexiones necesarias en el panel de control, así como la función de cada contactor y disyuntor. El panel de control venia incluido en la compra del filtro, por otro lado la empresa eléctrica encargada de la instalación eléctrica del filtro proporciono otro panel de control solo para la bomba por no venir uno incluido en la oferta inicial del filtro, también un variador de frecuencia que controle la velocidad de esta.

Estos planos se estudiaron y se ratificaron conforme se estaba instalando todos los periféricos, para consulta de todos estos planos los puede encontrar en el disco adjunto con este documento.

### **3.8.4. Empresa encargada de la instalación.**

La empresa encargada de la instalación eléctrica del filtro fue realizada por TISUL (taller industrial saretto), que también es la que brinda el mantenimiento eléctrico en general de toda la empresa, esta empresa se hizo cargo de materiales a comprar, el variador de frecuencia y el PLC para el control automático del filtro.

Se superviso toda la instalación, desde el primer momento en que comenzaron a montar los cables eléctricos, se proporcionó una ayuda técnica e ingenieril para poder agilizar la instalación, se constató que todo funcionara de manera adecuada mediante pequeñas pruebas, que luego se fueron puliendo en los tiempos adecuados.

#### **4. Capítulo 4. Capacidad de almacenamiento y caudales del sistema de agua actual.**

---

## **4.1. Marco Teórico.**

### **4.1.1. Introducción.**

Los lagos de almacenamiento artificiales son utilizados comúnmente en procesos de minería donde el agua resulta de vital importancia para el proceso de producción. El agua se acumula según el servicio requerido.

Las propiedades químicas del agua son uno de los factores importantes que se consideran para analizar el impacto que tiene sobre el material a lavar, las más importantes son el PH y la dureza que esta posea, ya que esto afecta directamente en la forma en que se utilizara, el agua de recirculación en el proceso.

### **4.1.2. Clasificación del agua según su uso.**

#### **a. Uso extractivo**

Es el uso en el cual se extrae o consume agua del lugar de origen por ejemplo ríos, aguas subterráneas, mar, etc. Pero en general puede ser cuantificado:

- Uso en industrias.

Se utiliza principalmente como materia prima, refrigerante, solvente, agente de transporte y como fuente de energía.

- Uso municipal.

Se considera el uso público, comercial y residencial, esto incluye el consumo directo o como proceso, por ejemplo, cocinar.

- Agricultura.

Es el agua para riego de cultivos y agua que se consume en ganadería. En general esta actividad consume en el mundo entre un 70% a un 80% de todos los usos extractivos.

- Generación de energía.

Se utiliza en la extracción de energía térmica, una parte del agua se utiliza para convertirla en vapor, y el resto como refrigerante del condensador.

#### **b. Uso no extractivo.**

Es el uso que se da al agua, en el ambiente natural de la fuente sin extracción o consumo del recurso.

- Generación de energía hidroeléctrica.

El agua es usada para hacer girar una turbina y de esta manera producir electricidad.

- Transporte.

Para transporte comercial y turístico.

- Recreación.

El agua permite el deporte náutico, así como actividades de pesca y esparcimiento.

#### **c. El agua en minería.**

En nuestro país la disponibilidad de agua se ve fuertemente afectada especialmente en la época seca, que ronda los meses desde diciembre hasta finales de mayo. Esto por lo tanto reduce la capacidad de captación de agua en consecuencia el agua se transforma en un recurso crítico para la producción.

En minería el agua se utiliza fundamentalmente como transporte y como proceso tradicional de lavado. El consumo de agua se especifica en metros cúbicos por cada hora de material lavado, como una forma de reducir el consumo

excesivo de este recurso, las empresas hacen grandes esfuerzos en inversión para racionalizar el aprovechamiento del agua.

#### **d. Normativas de regulación.**

Existen normativas nacionales que regulan los temas referentes al agua, sus usos y formas de aprovechamiento. En nuestro país la ley que rige este recurso se denomina “Ley de Aguas” corresponde a la ley N° 276, esta normativa establece cuales son las aguas de dominio público y dominio privado.

Un punto importante de esta ley es que cuando se quiera explotar el uso de las aguas en forma especial por parte de empresas o industrias ya sea de interés público o privado, deberá hacerse mediante concesión otorgada por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), entidad competente para disponer y resolver sobre el dominio de las aguas públicas, excepto en lo concerniente a las aguas potables destinadas a la construcción de cañerías para el uso público, pues la institución competente es el Ministerio de Salud.

Otro punto importante, en el Código de Minería se establece que las aguas minerales y aguas subterráneas y superficiales son públicas, el Estado tiene el dominio y administración de este recurso. Esto establece que las fuentes y aguas minerales y las aguas subterráneas y superficiales solo podrán ser explotadas por particulares de acuerdo con la Ley o mediante una concesión especial otorgada por tiempo limitado y con arreglo a las condiciones y estipulaciones que establezca la Asamblea Legislativa.

Este Código establece como potestad de la Asamblea Legislativa el reservar la exploración o explotación de ciertas zonas, entre otros fines para la protección de riquezas forestales o hidrológicas.

#### **4.2. Metodología.**

Las condiciones en que se trabaja la industria del Quebrador Ochomogo Ltda son muy particulares, tanto por el material que se extrae de la cantera, como

también la cantidad de agua que se puede utilizar para el lavado del material, ya sea en época de verano o en época de invierno. Por lo tanto resulta necesario explicar del porque se lava el material extraído y porque resulta critica el agua en esta actividad sobretodo en la época donde es más escasa.

Es importante mencionar los tipos de productos que se obtienen de la explotación en la cantera, esto se mencionó antes en la descripción de la empresa pero se retomara con más cuidado y estudiando la normativa que rige sus tamaños y propiedades.

Ahora bien, para comenzar lo primero que se hizo fue establecer las condiciones del lugar donde se tomaran las acciones y mediciones, el recurso hídrico es obtenido del rio Reventado, y la explotación del quebrador se sitúa al margen izquierda de este rio a una altura aproximada de 1700 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 20 °C y una presión atmosférica promedio de 0,844 Bar.

Con estas variables se trabajara y se tomaran las acciones adecuadas para una óptima extracción de datos. Se procederá al análisis de la capacidad de almacenamiento de agua que posee el quebrador, se medirán los tres lagos artificiales con ayuda de GPS, y se realizaran cálculos sencillos de volúmenes así como de caudales mediante métodos básicos de geometría y mecánica de fluidos, que nos generaran datos para discutir.

Seguidamente se hará un análisis del consumo de agua en la época de verano y otro para la época de invierno, para comparar los días en los que se puede disponer de agua y en otros donde solo se puede utilizar la almacenada. También se estudiara y comparara el agua antes de la instalación del filtro prensa y después de la instalación del filtro prensa para hacer constar la importancia de este proyecto para la empresa y la producción del quebrador.

### **4.3. Capacidad de almacenamiento.**

#### **4.3.1. Antecedentes**

En los años de la década de los 90 cuando la empresa Holcim compro el quebrador, solo se disponían de 2 lagos para almacenar agua proveniente del rio, estos 2 depósitos le eran insuficientes para la cantidad de agua utilizada en la época de verano, por lo que se vieron en la necesidad de pensar en alguna solución para este problema, esta solución vino con la idea de realizar un agujero o túnel vertical (Pozo) para buscar reservas de agua subterráneas, se hicieron los estudios ambientales y permisos pertinentes pero desafortunadamente la obra no dio los resultados pensados.

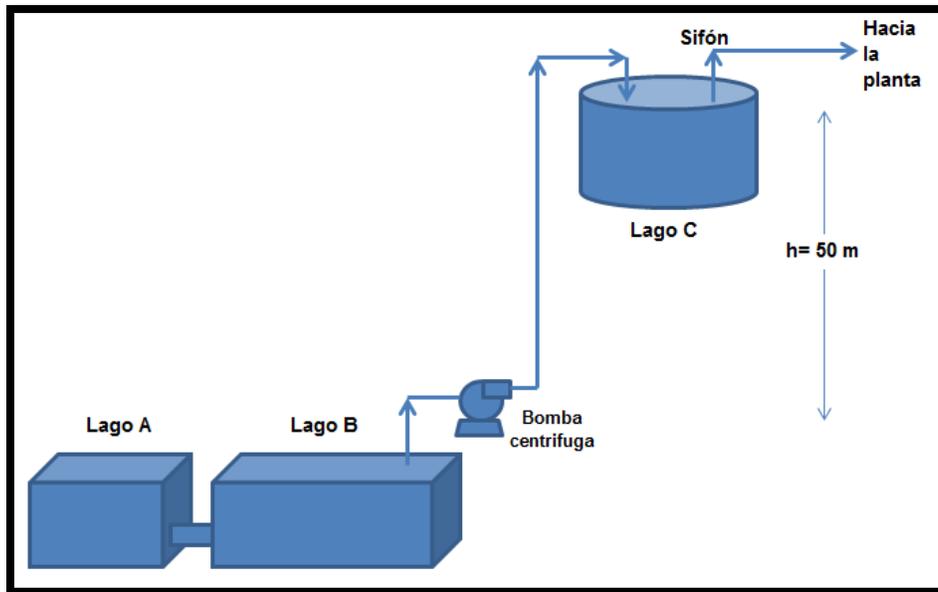
Al paso del tiempo la empresa Holcim decidió enfocarse más en su área matriz, que es la extracción de piedra caliza para hacer cemento, y dejo de lado las empresas de agregados, originando que el Quebrador Ochomogo fuera comprado por el Ingeniero Jorge Vásquez.

La nueva administración para hacer más productiva la empresa, vio la necesidad de tener un sistema de almacenamiento mucho más grande de agua, para así no sufrir, sobre todo en las épocas de verano donde el rio Reventado se seca totalmente. Esta preocupación dio como resultado la creación de un nuevo lago y la ampliación de los ya existentes que son los que se están utilizando actualmente.

Sin embargo la opción de almacenar agua no es óptima ya que la mayor parte de esta no se recircula en el proceso y es desechada nuevamente, por lo que el almacenaje se ve afectado a los pocos meses, por esta razón se pensó en una solución eficiente y que recuperara el agua, llegando a la conclusión que lo más eficaz seria instalar un sistema de filtro prensado.

El quebrador Ochomogo se disponen de tres lagos que se utilizan para la captación del agua, cada lago fue realizado de manera artificial y pensando siempre en la manera de almacenar la mayor cantidad de agua posible.

En la siguiente figura 4.1 se muestra el sistema utilizado actualmente, en donde los dos lagos, lago A y lago B están ubicados al margen del río Reventado, el lago A es el que capta directamente una parte del agua de río, de modo que para alimentar el lago B, este está conectado por medio de un sistema de compuerta para así controlar la cantidad de agua que recibe el lago B.



**Figura 4.1.** Esquema de los lagos que posee el quebrador.

Teniendo ya estos lagos llenos se procede por medio de una bomba centrífuga de media presión a enviarle caudal al lago C, el cual se encuentra a unos 50 m de altura con respecto al lago A y B, esta bomba centrífuga entrega aproximadamente 900 l/s del lago B al lago C. En los anexos XX se muestran los respectivos lagos con los que se trabajó.



**Figura 4.2.** Placa característica bomba ubicada en el lago B.

#### 4.3.2. Volumen de almacenamiento.

Cada lago tiene diferente capacidad de almacenamiento de agua, el cálculo se realizó midiendo, a través de GPS, el área total de cada lago y multiplicando luego por la profundidad aproximada, a continuación se muestra la tabla resumen donde se indica el volumen o capacidad de agua que puede almacenar cada lago..

**Tabla 4.1.** Capacidad almacenamiento de los lagos.

<b>Capacidad agua (m<sup>3</sup>)</b>	
Lago A	2 391
Lago B	7 034
Lago C	5 019
<b>Total</b>	<b>14 444</b>

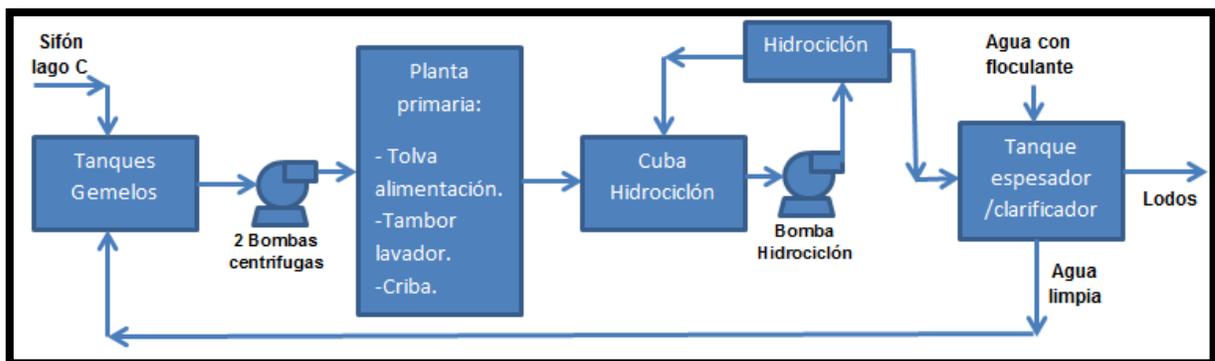
Sin embargo es necesario aclarar que aunque en la tabla anterior se muestre la capacidad de almacenamiento total de los lagos, es importante tener en cuenta que esta cantidad de agua no se puede utilizar en su totalidad ya que depende de la posición de succión de la bomba en el lago B y de la profundidad del sifón en el lago C. Además hay que tomar en cuenta la evaporación del agua

por lo que el total de capacidad rondaría los **12 000 m<sup>3</sup>** de agua aproximadamente.

#### 4.3.3. Consumo de agua antes filtro prensa.

En la empresa Quebrador Ochomogo Ltda, la utilización del agua resulta un punto crucial en la producción y eficiencia que pueda tener la empresa, el quebrador cuenta con dos plantas de procesamiento de material, la primera etapa que es llamada la “primaria” es donde comienza el proceso de triturado de material (piedras de gran tamaño), y después tenemos la segunda planta llamada la “secundaria” donde se da el segundo proceso de triturado de piedras medianas hasta los diferentes productos para vender.

La planta primaria es la que posee un sistema de lavado de material, el agua que se capta en los lagos es la que se utiliza para el lavado en donde es todo un sistema de tuberías las cuales conducen el agua a los diferentes puntos de interés de la planta. En la siguiente figura 4.3 se muestra y explica este proceso.



**Figura 4.3.** Esquema del ciclo del agua en el proceso de lavado.

El agua fresca, como se puede apreciar del diagrama de la figura 4.3, es tomada mediante un sifón hidráulico desde el lago C, esta agua llena los dos tanques gemelos de 3 m de diámetro cada uno y una profundidad de 5 m, estos tanques se encuentran conectados.

Luego dos bombas centrifugas de 50 HP, cada una conectada a un tanque gemelo, estas bombas son las que impulsan el agua hacia las diferentes zonas donde es requerida el agua para lavar y limpiar el material de la arcilla que no se puede utilizar, ver figura 4.4.



**Figura 4.4.** Bomba centrifuga utilizada en el sistema de lavado de la planta.

La primera instancia donde se utiliza el agua es en la tolva alimentadora donde se ingresa el material, ahí el agua comienza a lavar el lastre y las piedras depositadas por el cargador que luego son trituradas para luego pasar a una banda transportadora hacia el tambor lavador.

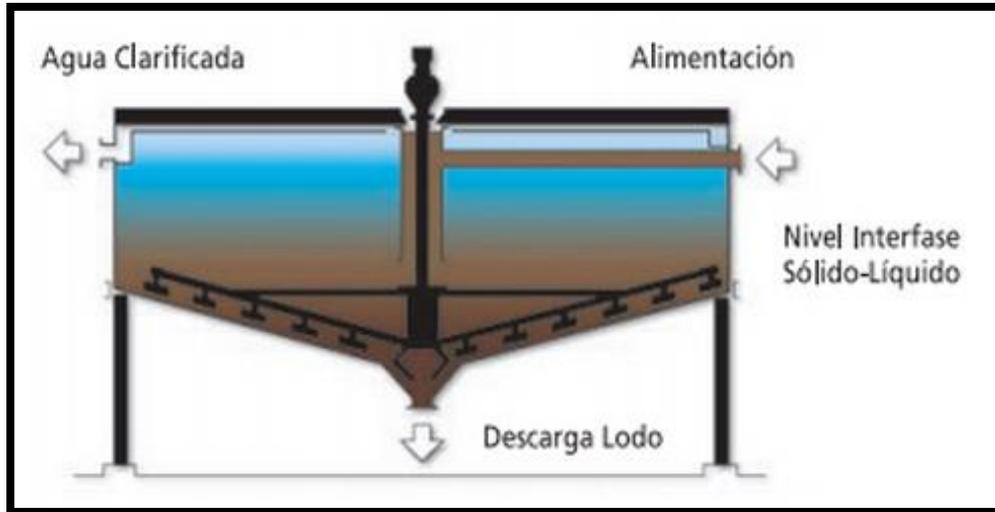
En el tambor lavador es donde se utiliza la mayor cantidad de caudal de agua, aquí es donde verdaderamente el material es lavado y donde se separa todo el material bueno del malo. Seguidamente todo lo que fue lavado en el tambor sale hacia la criba vibratoria donde el material se vibra y se escurre para luego pasar hacia la pila pulmón donde comenzara el proceso de la planta secundaria.

En todo el proceso anterior todo el agua que fue utilizada ya sea en la tolva alimentadora, en el tambor lavador y en la criba vibratoria, es reunida de nuevo mediante unos canales que por gravedad hacen que el agua caiga en una cuba captadora.

Esta agua reunida en la cuba es un agua mezclada con arcillas y partículas de arena, estas partículas todavía pueden ser extraídas mediante una bomba que impulsa la mezcla hacia un hidrociclón, el cual separa las partículas mediante la fuerza centrífuga que genera, separando la arena lavada de la arcilla que no se puede utilizar.

Como se puede ver en el diagrama de la figura 4.3 en el Hidrociclón hay una parte del agua que regresa a la cuba y la otra que pasa hacia el tanque clarificador, el agua que regresa a la cuba contiene la mayor cantidad de arena separada por el hidrociclón, esta arena es escurrida mediante un escurridor vibrante para extraerle la mayor cantidad de humedad y que la bomba del hidrociclón vuelva a circular la mezcla con agua. La otra parte que va al tanque clarificador ya es una pulpa liquido/sólido arcillosa, las cuales serán separadas para obtener el agua limpia.

Por último en el tanque clarificador se utiliza una solución floculante, combinada con agua, que provoca primero una coagulación y luego una floculación de la pulpa, la mezcla pulpa/floculante pasa a la zona inferior del tanque a través de un lecho fluido creado en el fondo por los sólidos sedimentados, el agua clarificada asciende a través del lecho fluido hacia la superficie siendo evacuada mediante un canal periférico de rebose y es devuelta a los tanques gemelos para volver a comenzar el ciclo, ver figura 4.5.

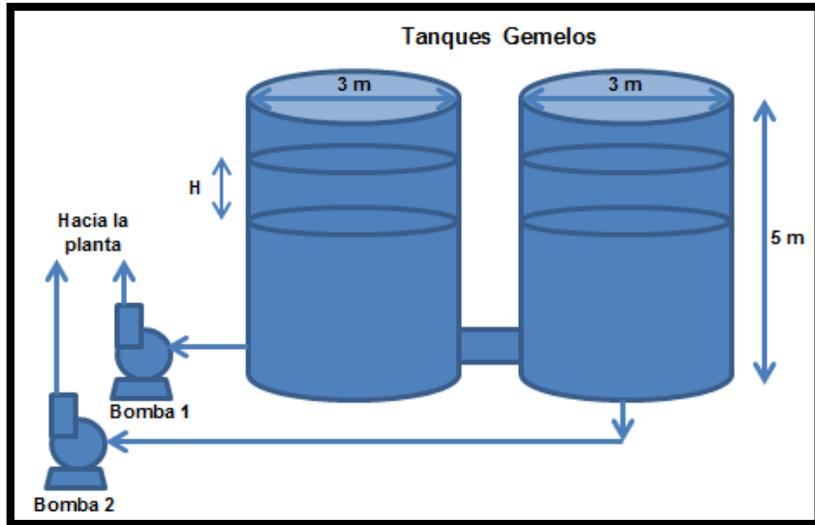


**Figura 4.5.** Sistema del tanque espesador/clarificador.

Antes de la instalación del filtro, la pulpa o mezcla sólido/líquido acumulada en el fondo del tanque de clarificación, era desechada mediante una válvula de compuerta que se abría según la necesidad para evitar que el tanque clarificación se saturara y se ensuciara perjudicando el funcionamiento del circuito de agua.

#### **4.3.4. Caudales del sistema agua.**

Los consumos importantes de agua se dan en lo que pueden entregar las bombas centrífugas de alimentación, este cálculo se hizo de manera práctica para determinar el consumo real de las bombas, primero el caso de solo la bomba 1 funcionando, luego el caso de solo la bomba 2 funcionando y por último las dos bombas juntas funcionando que es normalmente como se utilizan.



**Figura 4.6.** Esquema para la medición de caudal entregado por las bombas de alimentación.

Estos caudales se determinaron midiendo el tiempo en que las bombas demoraban succionando una determinada altura **H** de los tanques gemelos como se muestra en la figura 4.6, tenemos la medidas geométricas de los tanques por lo que resulta muy sencillo determinar el volumen que fue desplazado de los tanques y dividiendo esto con el tiempo obtenemos el caudal que están entregando. A continuación se detallan algunas de las fórmulas utilizadas:

$$V = 2\pi r^2 H$$

Donde;

V, volumen en [m<sup>3</sup>];

r, radio de los tanques en [m];

H, es la altura que descendió el agua en [m].

También se determinó el caudal mediante la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde;

Q, es el caudal en [m<sup>3</sup>/h];

V, es el volumen desplazado de los tanques;

t, es el tiempo que duro el desplazar ese volumen.

Ahora se procede a mostrar los cálculos obtenidos, así como las características tanto de la bomba 1 como de la bomba 2 mediante las tablas 4.2 y 4.3.

**Tabla 4.2 .** Caudales entregados por bombas de alimentación.

<b>Descripción</b>	<b>Altura H (m)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal (l/min)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Bomba 1	0,25	40	3,53	5301,45	318,09
Bomba 2	0,25	42	3,53	5049	302,94
Bomba 1 y bomba 2	0,25	22	3,53	9639	578,34

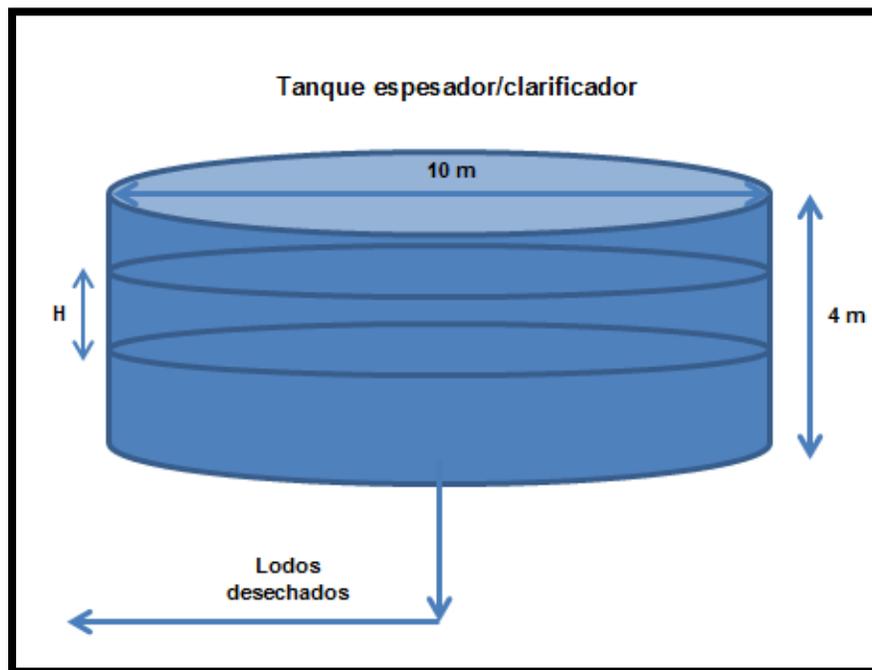
**Tabla 4.3.** Características de las bombas de alimentación.

<b>Parámetros</b>	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>
<b>Marca Bomba</b>	KSB	KSB
<b>Marca Motor</b>	WEG	WEG
<b>Potencia (kW)</b>	42	45
<b>Voltaje (V)</b>	440	460
<b>Corriente (A)</b>	67,3	67,8
<b>Velocidad (rpm)</b>	1770	1770
<b>Factor de potencia</b>	0,89	0,89

En la tabla 4.2 podemos ver que el caudal entregado por las bombas es un poco diferente, debido a que las bombas, aunque sean de la misma capacidad y tamaño, lo que varía es la potencia del motor, la bomba 1 entrega un poco más de caudal pero es un caudal despreciable si se compara al total que entregan las bombas.

Como se mencionó antes en el proceso hay un punto en el que se desecha la pulpa o mezcla solido/líquido que se encuentra en la parte inferior del tanque espesador/clarificador, en este punto es donde se desperdicia la mayor cantidad de agua que se desecha porque va mezcladas con el lodo.

Para medir esto se utilizó un proceso similar al de los tanques gemelos en donde se midió una altura  $H$  en determinado tiempo para así calcular el volumen y el caudal con que se desechan estos lodos, el proceso o el diseño del tanque con sus medidas geométricas las podemos observar en la siguiente figura 4.7.



**Figura 4.7.** Esquema para la medición de caudal desechado del tanque espesador/clarificador.

Los cálculos aquí también resultan sencillos por lo que se procederá a mostrar el cálculo obtenido.

**Tabla 4.4.** Caudal de lodos descartado del tanque espesador/clarificador.

Descripción	Altura H (m)	Tiempo (s)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal lodos (l/min)	Caudal lodos (m <sup>3</sup> /h)	Caudal agua (m <sup>3</sup> /h)
Lodos desechados	0,25	250	19635	4712,40	282,74	197,92

Si analizamos la tabla 4.4 podemos darnos cuenta que el caudal de lodos que se está desechando es de 282,74 m<sup>3</sup>/h de los cuales el 70% corresponde a agua y el otro 30% en arcilla, lo que daría un caudal de agua desechado de aproximadamente 197,92 m<sup>3</sup>/h, esto nos da a entender la cantidad tan excesiva de agua que se desperdicia y que antes del filtro prensa resultaba imposible de recuperar.

Sin embargo hay otras formas donde el agua que entregan las bombas 1 y 2 se puede perder, esto en fugas presentes en la planta o bien en la humedad presente en los agregados que fueron lavados. Se pierde casi un 1% en fugas de agua en la plata, un 2% en humedad de la arena y piedra pulmón. Se plantearon las pérdidas por día de producción, para hacer más sencilla la explicación, en donde en promedio de producción de la planta primaria es de 5 horas al día.

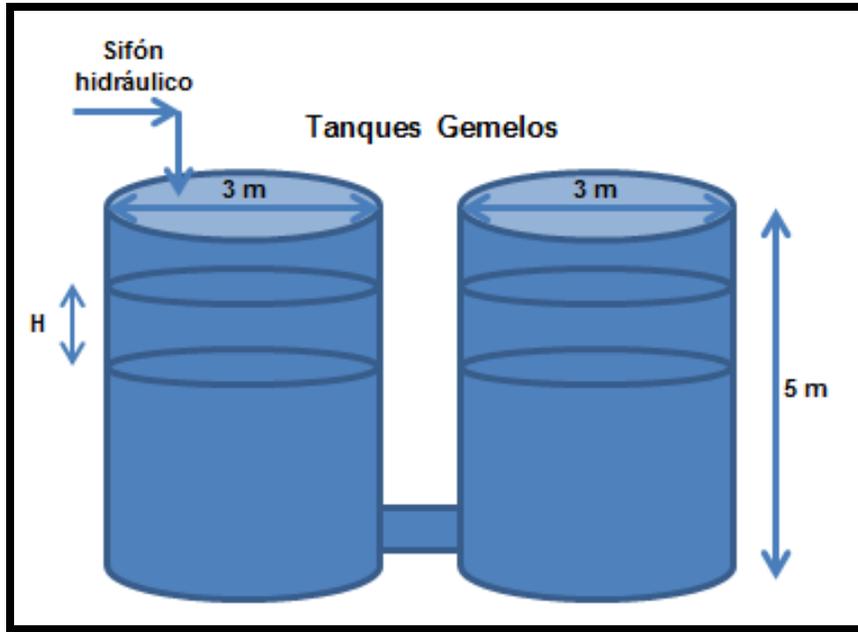
Se realizó una aproximación de cuantos metros cúbicos de agua se desperdicia en esas 5 horas de producción, algo importante a descartar es que la evacuación de lodos del tanque espesador/clarificador se realiza unas 10 veces en promedio cada hora, con un lapso de cada apertura de 2 minutos de duración, por lo que el cálculo de cuantos metros cúbicos de agua se pierden con los lodos, depende de cuantas veces se abra la válvula en el transcurso de esas 5 horas.

**Tabla 4.5.** Pérdida diaria de agua sin el filtro prensa instalado.

<b>Descripción</b>	<b>Volumen agua (m<sup>3</sup>)</b>
Agua perdida en lodos	329,86
Fugas planta	28,92
Humedad material lavado	57,83
<b>Total</b>	<b>416,61</b>

Sumando las tres fuentes de pérdidas podemos ver que se ocuparían aproximadamente como mínimo unos 417 m<sup>3</sup> de agua limpia por día para poder producir sin contratiempos en el quebrador.

Para suplir esta demanda de 417 m<sup>3</sup> al día, se logra por medio de un sifón hidráulico colocado en el lago C el cual está conectado a los tanques gemelos que es donde caen las nuevas aguas limpias. Se hizo los mismos cálculos de volumen y tiempo de llenado de los tanques para determinar el caudal que puede suplir el sifón junto con las medidas según se puede observar en la figura 4.8.



**Figura 4.8.** Esquema para la medición de caudal entregado por el sifón hidráulico del lago C.

Los cálculos obtenidos se muestran en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6.** Caudal entregado por el sifón hidráulico del lago C.

Descripción	Altura H (m)	Tiempo (s)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (l/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Sifón Hidráulico	1,22	558	17,23	1852,69	111,16

Como se puede observar en la tabla 4.6 el sifón hidráulico es capaz de entregar 111,16 m<sup>3</sup>/h de agua fresca para el ciclo de lavado de la planta, para poder suplir los 417 m<sup>3</sup> de agua perdida en el proceso se necesitaría tener la llave de alimentación del sifón abierta por un mínimo de 3,75 horas diarias y así obtener unos 416,85 m<sup>3</sup> de agua limpia. Así obtenemos un equilibrio entre lo que botamos y lo que le agregamos al sistema.

Se indicaron las variables que rigen el ciclo de lavado en el quebrador Ochomogo, ahora lo que compete es ver la diferencia entre el invierno, que comprende los meses de mayo a diciembre donde el agua en el río reventado es

abundante, y en la época de verano, que comprende desde diciembre hasta finales de abril donde al agua escasea.

#### 4.3.5. Temporada invierno.

En esta época como se ha mencionado, el caudal que entrega el río Reventado es abundante por lo que el agua no resulta ser un problema, se consumen diariamente los 417 m<sup>3</sup> de agua limpia pero que es fácilmente recuperada con ayuda del agua captada en el río.

#### 4.3.6. Temporada de verano.

Es el caso contrario cuando esta la época de invierno, aquí la situación es más complicada, el agua del río Reventado deja de correr y queda totalmente seco, solo se dispone de lo que se pudo guardar en los lagos.

Como se mencionó antes, la capacidad total de los tres lagos en época seca es de aproximadamente 12 000 m<sup>3</sup> de agua, para usarlos en el consumo diario que se tiene en la planta primaria. Si se calcula cuanto durara en consumir esa cantidad de agua a un ritmo de 417 m<sup>3</sup> por día, obtenemos que la capacidad total será usada en aproximadamente 29 días según podemos observar en la tabla 4.7, por lo tanto en un mes el quebrador se quedaría sin suministros de agua y no podría lavar material para producir agregados.

**Tabla 4.7.** Capacidad de días que tarda el volumen agua en gastarse sin el filtro prensa instalado.

Consumo diario (m <sup>3</sup> )	Días	Agua utilizada (m <sup>3</sup> )
417	29	12 093

En la época seca de años anteriores, la empresa recurría a comprar la materia prima en una cantera de Turrialba, este material traído desde Turrialba es muy diferente al que se extrae en el quebrador, el material comprado no tiene necesidad de ser lavado ya que es muy limpio (no contiene arcillas), pero el costo de producción se incrementa debido al transporte, en comparación con los costos en la épocas donde hay más lluvias, por lo tanto no era factible poder subsistir así.

#### **4.3.7. Consumo de agua después filtro prensa.**

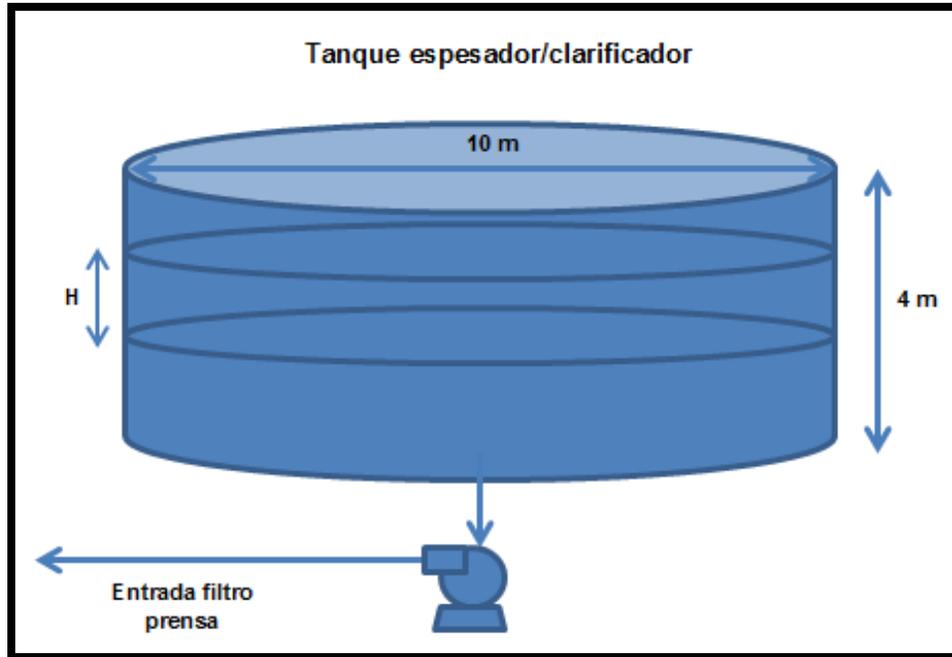
Las dificultades vividas en la época seca y las pérdidas de clientela y de producción, fue lo que dio paso a buscar una solución permanente de este problema, el cual era vital poder solucionar, el desafío primordial era poder recuperar el agua con lodos que se desperdicia del tanque espesador/clarificador.

Por lo tanto la directiva de la empresa concluyo que la mejor opción era tener un sistema de filtrado, en donde el filtro separara la mayor cantidad de agua limpia posible de la pulpa solido/liquida y así aunque se pueda perder un poco de agua, seria de un menor impacto comparado a lo que se desperdicia desechando los lodos, por esta razón nació el proyecto de instalación del filtro prensa.

En el capítulo 2 de este texto se explica el proceso y funcionamiento del filtro, este filtro en particular funciona con un sistema de bomba centrífuga el cual empuja la pulpa hacia el filtro, el ciclo completo de prensado dura aproximadamente 24 min, de los cuales 12 min es lo que permanece la bomba funcionando.

En estos 12 min se puede calcular la cantidad de lodos ingresados y la cantidad de agua que es filtrada en todo el ciclo, con esto podemos ver la cantidad de agua que se puede perder mediante la humedad de las tortas salidas de la prensa y en general el proceso en sí.

Se utilizó la misma metodología que la utilizada el cálculo de caudal de los lodos desechados, como lo muestra la figura 4.9.



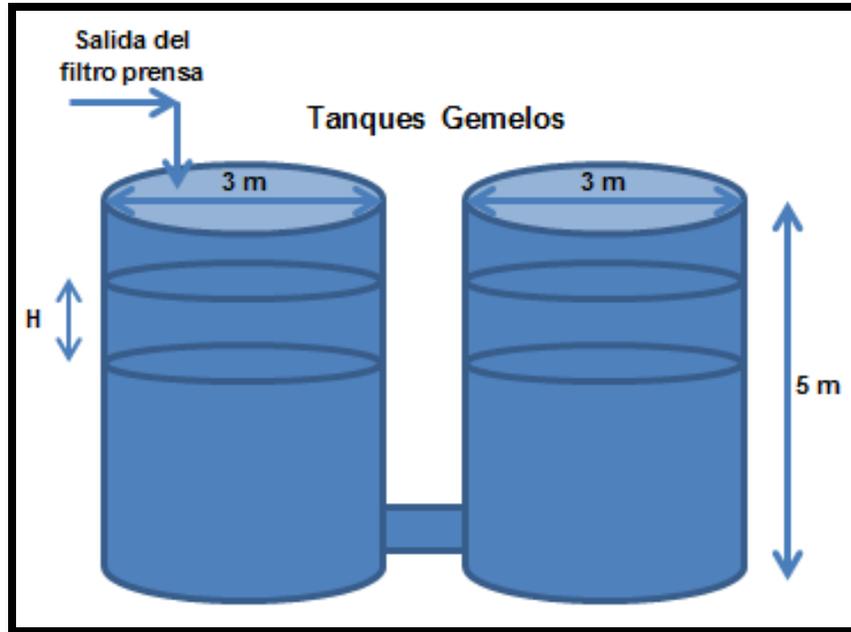
**Figura 4.9.** Esquema para la medición de caudal entregado por la bomba del filtro prensa.

Se midió la altura que baja el agua del tanque clarificador en determinado tiempo, así podemos calcular cuanta pulpa entrega la bomba hacia el filtro prensa como se puede observar en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Caudal entregado por la bomba hacia el filtro prensa.

Descripción	Altura H (m)	Tiempo (s)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (l/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Bomba filtro prensa	0,065	164	5,11	1869,51	112,17

Como se observa el caudal que la bomba entrega es de aproximadamente 112,17 m<sup>3</sup>/h de lodo, de los cuales la prensa separara la parte liquida de la sólida, luego se calculó cuanto agua líquida se regresa al sistema la cual cae en los tanques gemelos, por lo tanto se utilizó el mismo sistema utilizado para medir el caudal entregado por el sifón, representado en la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Esquema para la medición de caudal entregado por la salida del filtro prensa.

De igual forma se midió la altura que sube el agua en los tanques gemelos en determinado tiempo, así podemos calcular cuánta agua limpia entrega el filtro como se puede observar en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9.** Caudal de la bomba entrada y salida del filtro presa.

Descripción	Altura H (m)	Tiempo (s)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (l/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Bomba filtro prensa	0,065	164	5,11	1869,51	112,17
Salida filtro prensa	0,48	688	18,85	1643,83	98,63

En la tabla 4.9 vemos el caudal de lodos que entrega la bomba, de esos 112,17 m<sup>3</sup>/h solo 98,63 m<sup>3</sup>/h son devueltos al sistema lo demás queda atrapado en el filtro con un 25% de humedad que es mayormente donde se ven las pérdidas, juntos con algunas fugas menores al momento de abrir el filtro prensa. A

continuación se muestra la tabla 4.10 donde se indica los datos más relevantes de caudales, volúmenes y pérdidas con el uso de la prensa.

**Tabla 4.10.** Datos relevantes en el funcionamiento del filtro prensa

	<b>Descripción</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>
<b>Capacidad</b>	Volumen de las cámaras	3	m <sup>3</sup>
	Densidad torta al 30% humedad	1252	g/l
<b>Tiempos</b>	Tiempo ciclo completo	24	min
	Tiempo la bomba funcionando	12	min
	Horas hábiles por día	22	h
<b>Caudales</b>	Bomba filtro prensa	112,17	m <sup>3</sup> /h
	Salida del filtro prensa	98,63	m <sup>3</sup> /h
<b>Volumen de agua entregado</b>	Bomba filtro prensa	22,43	m <sup>3</sup>
	Salida del filtro prensa	19,73	m <sup>3</sup>
	Volumen lodo dentro de prensa	2,70	m <sup>3</sup>
<b>Perdidas</b>	Humedad en las tortas por ciclo	0,67	m <sup>3</sup>
	Perdidas menores por ciclo	0,15	m <sup>3</sup>
	Total perdidas por ciclo	<b>0,82</b>	m <sup>3</sup>
	Total perdidas por día	<b>45,16</b>	m <sup>3</sup>

Aparte de las pérdidas por día utilizando la prensa, también se suman las pérdidas por fugas en la planta y las pérdidas por humedad en el material lavado. Todas estas pérdidas nos darán el resultado final de cuánta agua se desperdicia por día utilizando la prensa en jornadas de 22 horas diarias, según se resume en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11.** Pérdida diaria de agua con el filtro prensa instalado.

<b>Descripción</b>	<b>Volumen agua (m<sup>3</sup>)</b>
Agua perdida en tortas de lodo	45,16
Fugas planta	28,92
Humedad material lavado	57,83
<b>TOTAL</b>	<b>131,91</b>

La capacidad total de los tres lagos en época seca es de aproximadamente 12 000 m<sup>3</sup> de agua, para usarlos en el consumo diario que se tiene en la planta primaria. Si calculamos cuanto se tarde en consumir esta cantidad de agua teniendo en cuenta la demanda que nos está pidiendo el filtro prensa el resultado lo podemos ver en la siguiente tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Capacidad de días que tarda el volumen agua en gastarse con el filtro prensa instalado.

<b>Consumo diario (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Días</b>	<b>Agua utilizada (m<sup>3</sup>)</b>
132	91	12 012

A un ritmo aproximado de 132 m<sup>3</sup> diario, para consumir los 12 000 m<sup>3</sup> se necesitaría un total de 91 días, que resulta casi el triple que lo que se utilizaría normalmente, pasamos de 1 mes que nos duraría el agua hasta aproximadamente 3 meses que nos durarían las reservas.

Podemos concluir entonces que la instalación del filtro prensa resulto un gran paso para la producción anual del quebrador, que aunque no se produzca con la misma proporción que se hace en invierno, las pérdidas se verán reducidas comparadas a veranos anteriores donde era casi imposible poder subsistir y poder cumplir la demanda de los clientes.

## **5. Capítulo 5. Diseño de sistema de alimentación de lodos para alimentación del filtro prensa.**

---

## **5.1. Marco teórico.**

### **5.1.1. Consumo y presiones mínimas.**

Antes de comenzar es de suma importancia saber cuáles son los requerimientos de caudal y presión de diseño del equipo a alimentar. Todo equipo nuevo debe brindar esta información ya que de aquí será el punto de partida para comenzar a realizar los cálculos para el circuito de alimentación.

En nuestro caso el sistema filtro prensado utiliza un sistema de alimentación de lodos el cual se alimenta desde el tanque de clarificación donde los lodos son acumulados en su base para ser succionados por la bomba de lodos. Estos lodos son empujados por la bomba hasta la entrada del filtro prensa, donde son ingresados.

El equipo trabaja a una presión de operación variable, aunque podría trabajar a una presión como mínima de 6 Bar y máxima de 12 Bar, en lo que respecta al caudal este trabajara a 45 l/s, hay que tener en cuenta que este equipo es un poco diferente a cualquier otro ya que la presión juega un papel primordial, y no tanto el caudal.

### **5.1.2. Selección tuberías.**

Otro punto importante es la selección de tubería a utilizar, la cual debe basarse en tres criterios:

- a. Caída de presión, que en este caso si la caída de presión produce condiciones de funcionamiento inadecuados, puede tomarse la decisión de aumentar el diámetro interno.
- b. Esfuerzo de flexión en tubería, ya que todo fluido genera fuerzas y momentos que se someten la tubería y accesorios.
- c. El golpe de ariete, una columna de líquido al moverse tiene cantidad de movimiento lo cual es proporcional al peso y velocidad.

### 5.1.3. Caída presión en tuberías y presión a levantar por la bomba.

Resulta prácticamente imposible mantener una presión constante de agua, debido a la variabilidad de las velocidades mínimas y máximas recomendadas en una tubería, a la rugosidad y a la longitud de la misma, como también el tipo de fluido a trasegar.

Lo que sí se puede hacer es cuantificar estas caídas de presión, para lograr que a los equipos llegue el caudal y la presión mínima requerida. De no ser así los equipos trabajarán con una eficiencia inadecuada al no llegar la presión o caudal necesarios para su buen funcionamiento.

Existen modelos para cuantificar estas caídas de presión, como por ejemplo la ecuación de Hazen – Williams y la ecuación de Darcy – Weisbach. Ambas muy utilizadas, pero se utilizara solo la primera al ser más sencilla.

$$h_f = \frac{10,675 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85}}{D^{4,87}} * L$$

Donde,

$h_f$  = caída presión (mca)

D = diámetro interno (m)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de rugosidad.

Para el caso de hierro fundido utilizaremos un C=130

En redes abiertas la distribución de agua debe diseñarse el sistema hacia las condiciones de requerimiento crítico de presión y caudal, en sistemas pequeños puede resultar sencilla la selección de la ruta crítica. Para la selección de la ruta crítica pueden sumarse las cargas estáticas a vencer por el sistema de bombeo, desde la bomba hasta los puntos a valorar de la siguiente forma.

$$P_e = h_{min} + h_f + h_g$$

Donde,

$P_e$  = Presión estática a vencer (mca)

$h_{min}$  = presión mínima requerida en la salida (mca)

$h_f$  = caída de presión en el tramo a analizar (mca)

$h_g$  = altura geométrica medida respecto a una referencia (m)

Una vez establecida la ruta crítica, la presión a levantar por la bomba centrífuga se proyectara hasta este punto de demanda. La presión total a desarrollar será:

$$H_T = H_{TD} \pm H_{TS}$$

Donde,

$H_T$  = presión total (mca)

$H_{TD}$  = presión total en la descarga (mca)

$H_{TS}$  = presión total en la succión (mca)

El termino  $H_{TS}$  será positivo siempre y cuando el nivel de la bomba este por debajo del tanque de succión, la presión total en la descarga  $H_{TD}$  y la presión total en la succión  $H_{TS}$  están compuestas de otros dos elementos cada una, carga estática y carga dinámica. Por tanto:

$$H_{TD} = H_{ED} + H_{DD}$$

$$H_{TS} = H_{ES} + H_{DS}$$

Donde,

$H_{ED}$  = presión estática en la descarga (mca)

$H_{DD}$  = presión dinámica en la descarga (mca)

$H_{ES}$  = presión estática en la succión (mca)

$H_{DS}$  = presión dinámica en la succión (mca)

Las presiones dinámicas se cuantifican mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$h_{DIN} = \frac{V^2 * \rho}{20000}$$

Donde,

$h_{DIN}$  = presión dinámica (mca)

$V$  = velocidad del fluido en la tubería (m/s)

$\rho$  = densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

## **5.2. Calculo del caudal de diseño.**

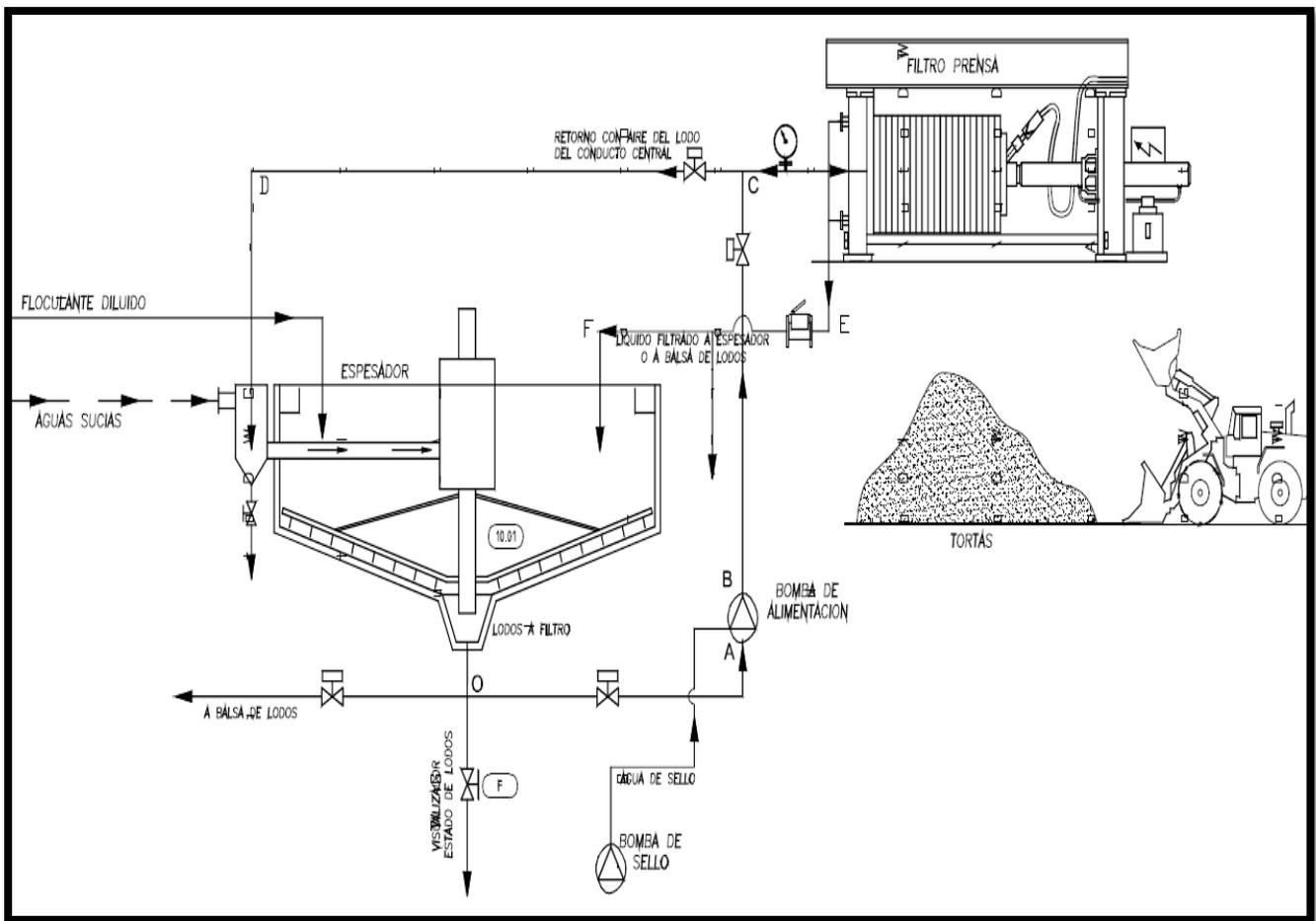
### **5.2.1. Introducción.**

Como se mencionó anteriormente los principales tópicos para el cálculo del sistema de bombeo de agua son: el consumo y presiones mínimas de trabajo del equipo, la selección de tuberías, la caída de presión en las tuberías y distribución de flujo y la cavitación.

El sistema del filtro prensa resulta ser muy sencillo, a continuación se detalla los requerimientos del equipo a alimentar:

**Tabla 5.1.** Detalle de la cantidad, altura de alimentación, presión mínima y caudal requerido por el equipo filtro prensa.

Cant.	Equipo	Presión mínima requerida (mca)	Altura de alimentación (m)	Caudal requerido (l/s)
1	Filtro prensa	61,18	6	45



**Figura 5.1.** Diagrama del proceso de alimentación de lodos del filtro prensa.

### 5.2.2. Caudal de diseño.

El sistema a proyectar es muy simple cuenta solo con un equipo por lo que es solo un tramo de tubería que a su vez será la ruta crítica, por esta razón el caudal de diseño resulta muy fácil de obtener ya que es el mismo que el caudal requerido por el equipo.

$$Q_{diseño} = 45 \text{ l/s}$$

### 5.3. Selección de tubería a utilizar.

Anteriormente se comentó que para la selección de una tubería para trasegar agua, debe basarse en tres criterios; la caída de presión, los esfuerzos de flexión en la tubería y el golpe de ariete. Se utilizara el primero y el ultimo criterio, se supondrá que el peso del fluido y los efectos cinéticos de este sobre la tubería se dejaran de lado para sobre diseñar los espesores bajo un rango aceptable tanto mecánico como económicamente viable.

Una forma para comenzar el análisis de la tubería, es a través de métodos dinámicos, donde al tramo crítico se le asignó una velocidad máxima de 5 m/s que sobrepasa lo recomendado pero que en este aspecto la velocidad no resulta tan crítica como se verá más adelante.

Se utilizará tubería de hierro negro o fundido, por eso es muy importante tener bien claro el análisis, para la adecuada selección del calibre adecuado. La razón principal de esta elección, como se comentó anteriormente en el marco teórico, es minimizar el golpe de ariete, el cual al producirse un cambio súbito en el paso del fluido se forma una onda de choque que genera una presión muy elevada.

La tubería que se seleccione debe soportar esta presión, de tal forma que la presión de trabajo sea mayor que la presión de ariete a la velocidad del fluido en el tramo crítico. Esto no quiere decir que si la presión de ariete iguala a la de trabajo, la tubería vaya a fallar, sin embargo si esto ocurre la tubería podría fallar por fatiga.

El golpe de ariete varía según la velocidad del fluido, la velocidad que escogimos fue de 5 m/s, esta velocidad es proporcional a la presión de ariete para el caso de 2,57 Bar por lo tanto a 5 m/s la presión de ariete rondaría un dato no mayor a 12,85 bar.

A partir de esto ya podemos comenzar a seleccionar y vaticinar los diámetros adecuados para el tramo crítico, la disponibilidad es importante, en el caso del filtro prensa se instaló una tubería de 4 pulg de diámetro ya que era el de mejor precio y disponibilidad en el momento, en el anexo 9 se muestra las tuberías compradas.

Es necesario cerciorarnos de la premisa anterior realizando un pequeño calculo, utilizando la ecuación de continuidad para fluidos  $A_1V_1 = A_2V_2$ , donde A es el área transversal por donde pasa el fluido y V es la velocidad del fluido en el tramo. Despejando tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Por lo tanto con el caudal del tramo y la velocidad máxima recomendada, se calcula el diámetro requerido. La siguiente tabla resume los datos obtenidos.

**Tabla 5.2.** Calculo y selección de diámetro para la tubería el sistema filtro prensado.

Tramo	Longitud de tubería (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Diam. Inter. (mm)	Diam. Selec. (mm)	Diam. Nom (pulg)
Principal (B-C)	18	0,045	5	107,05	108,3	4
Succión (O-A)	1,5	0,045	2	169,25	161,2	6

#### 5.4. Caída de presión en la tubería.

Para la caída de presión se utilizara el método de Hazen-Williams que establece que:

$$h_f = \frac{10,675 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85}}{D^{4,87}} * L$$

En la siguiente tabla se resumen los valores de caída de presión en el tramo principal:

**Tabla 5.3.** Calculo caída de presión en tramo principal.

Tramo	Longitud de tubería (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Diam. Inter. (mm)	Diam. Selec. (mm)	Diam. Nom (pulg)	C	Caída presión (mca)
<b>Principal</b>	18	0,045	5	107,05	108,3	4	130	3,82
<b>Succión</b>	1,5	0,045	2	169,25	161,2	6	130	0,06

#### 5.5. Presión total a desarrollar por la bomba.

La presión total de descarga ( $H_{TD}$ ) está compuesta de dos elementos una carga estática y una carga dinámica.

Como ya se sabe:

$$H_{TD} = H_{ED} + H_{DD}$$

La  $H_{ED}$  está conformada por los componentes estáticos como la caída de presión, la presión mínima y la altura geométrica. Por otro lado la  $H_{DD}$  es la presión dinámica y se calcula como:

$$h_{DD} = \frac{V^2 * \rho}{20000}$$

Donde,

$h_{DD}$  = presión dinámica (mca)

$V$  = velocidad del fluido en la tubería (m/s)

$\rho$  = densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

La presión total de descarga es igual a la caída de presión en el tramo principal; más un 10% adicional por caídas de presiones menores en accesorios; más la presión mínima requerida; más la altura geométrica a vencer; más la presión dinámica. También hay que tomar en cuenta la densidad del fluido que en este caso son lodos con una densidad de  $2000 \text{ kg/m}^3$  al 75% de disolución de sólidos. Entonces:

**Tabla 5.4.** Calculo presión total en la descarga.

Tramo	$H_{ED}$ (mca)	$H_{DD}$ (mca)	$H_{TD}$ (mca)
Principal	71,38	2,50	73,88

En el otro aspecto la presión total de succión también está compuesta por una carga estática y una carga dinámica.

$$H_{TS} = H_{ES} + H_{DS}$$

Para determinar la presión total en la succión debe sumarse la caída de presión en el tramo de la succión, más la altura geométrica a vencer, más la presión dinámica. Igual que en el cálculo de la presión de descarga se asumirá un 10% adicional por caídas de presiones menores en accesorios. Se supondrá la entrada de succión de 6 pulg, por la razón que ocupamos una velocidad de 2 m/s en la succión y no los 5 m/s que se utilizan en la descarga.

Por lo tanto la presión total de succión, será la caída de succión en el tramo más un 10% por accesorios, más la altura geométrica, más la presión dinámica, resultando lo siguiente:

**Tabla 5.5.** Calculo presión total en la succión.

Tramo	H <sub>ES</sub> (mca)	H <sub>DS</sub> (mca)	H <sub>TS</sub> (mca)
succión	1,57	0,4	1,97

Por lo tanto lo único que queda es averiguar la presión total a levantar por la bomba que se calcula de la siguiente forma:

$$H_T = H_{TD} - H_{TS}$$

En este caso H<sub>TS</sub> tomara un valor positivo ya que el nivel de la bomba es inferior a la superficie libre de líquido en el tanque. Por lo tanto para el caso de H<sub>T</sub> será igual a:

$$H_T = 73,88 - 1,97$$

$$H_T = 71,91 \text{ mca}$$

De esta forma los datos para la selección de la bomba son:

**Caudal: 45 l/s o 162 m<sup>3</sup>/h**

**Presión: 71,91 mca**

Con esta información consultamos catálogos de fabricantes para seleccionar la turbo maquina más adecuada. En este caso se buscó una bomba que cumpliera con estos requerimientos y manejara un fluido abrasivo como el lodo, se declinó utilizar un manual con curvas de bombas de la marca MUYUAN (anexo 10) que son especialistas en bombas para trasiego de lodos, a continuación se muestra las características de la bomba seleccionada.

**Tabla 5.6.** Características de la bomba seleccionada.

<b>Modelo</b>	<b>6/4D-MA</b>
<b>Tamaño (pulg)</b>	6 x 4 (succión y descarga)
<b>Eficiencia (%)</b>	60
<b>Potencia (kW)</b>	45
<b>Diámetro impulsor (mm)</b>	365
<b>Velocidad (rpm)</b>	1775

Por último la tubería de succión fue seleccionada con un diámetro de 6 pulg nominales, y no hay necesidad de corroborar el NPSH disponible por el sistema, ya que no hay falta de cabeza de presión en la succión, por estar el tanque de lodos por encima de la referencia de la bomba y el agua baja por el propio peso de ella misma.

En resumen se compraron 4 tubo redondo de hierro negro A53, cedula 40, para la unión de estos se utilizaron bridas de 150 psi (cotización en anexo 11) y algunos accesorios como codos, en la succión se utilizó un codo y un tubo redondo de 6 pulg nominales A53, hierro negro, y por supuesto la bomba con las características de la tabla 5.6, todas estas cotizaciones estarán en la parte de anexos del presente documento.

También es bueno recalcar que se utilizaron otras tuberías, como las de salida de líquidos filtrados y las de soplado de núcleo, sin embargo estas ya estaban dimensionadas por el fabricante y no hubo ningún problema en comprarlas y solo ponerlas en su lugar, en caso contrario con la tubería principal de alimentación (tramo AB figura5.1) la cual si necesitaba un estudio puntual tanto para comprar la tubería como la bomba que se iba a utilizar.

## **6. Capítulo 6. Diseño del sistema aire comprimido para el funcionamiento del filtro prensa.**

---

## **6.1. Introducción**

En este capítulo se desarrollan los cálculos y valoraciones necesarias de acuerdo con las especificaciones que fueron planteadas para el buen funcionamiento del sistema de aire comprimido en el equipo de filtro prensa.

Primeramente se brinda un marco teórico que permite entender ciertos criterios y conceptos relacionados con el campo del aire comprimido y el diseño de los sistemas y componentes utilizados en esta área de la ingeniería.

Se describirá la metodología con la cual se abordó el problema de diseño, aquí se describen los métodos, la secuencias y los criterios para obtener los resultados, así como la verificación de los mismos, lo que permitirá cumplir con los objetivos planteados de la instalación completa del filtro prensa.

## **6.2. Marco teórico**

En su acepción original, la neumática se ocupaba de la dinámica del aire y de los fenómenos gaseosos, pero la técnica ha creado de ella un concepto propio, pues en Neumática sólo se habla de la aplicación de la sobrepresión o de la depresión (vacío).

La mayoría de las técnicas neumáticas se basan en el aprovechamiento de la energía de sobrepresión previamente generada, respecto de la presión atmosférica. El portador de esta energía es el aire comprimido.

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

### **6.2.1. Fundamentos de la neumática**

Actualmente el aire comprimido es utilizado como una eficaz herramienta de trabajo como fuente de energía para diversas aplicaciones.

Una red de aire comprimido está compuesta básicamente por los siguientes elementos

- a. Compresor o Compresores
- b. Depósito de aire (central y periféricos)
- c. Mandos y reguladores
- d. Purgadores
- e. Refrigeradores
- f. Secadores
- g. Tuberías y accesorios

La sala de compresores debe estar ubicada en el lugar más frío de la fábrica, para que a la hora de la succión el compresor pueda espirar la mayor cantidad de moléculas de aire, haciendo su trabajo más eficiente. Se recomienda que la temperatura ambiente del cuarto esté entre 30 °C y 38 °C.

El aire es comprimido con el compresor y, a continuación, es guiado hacia el sistema de distribución de aire y de este hacia la “unidad de mantenimiento” de cada equipo o útil neumático. La unidad de mantenimiento combina los siguientes elementos:

- a. Filtro para aire comprimido.
- b. Regulador de aire comprimido
- c. Lubricador de aire comprimido

La combinación correcta, el tamaño y el tipo de estos elementos es determinada por la aplicación concreta y por las exigencias que se planteen al sistema. Para garantizar la calidad de aire necesaria en cada aplicación, se

instalan unidades de mantenimiento en todos sistemas de control de la red neumática.

El filtro para aire comprimido tiene la función de eliminar impurezas y condensado del aire a presión que pasa por él. El aire comprimido fluye hacia el vaso del filtro guiado a través de ranuras de entrada. En el vaso se produce la separación de partículas de líquido y de suciedad mediante fuerza centrífuga. Las partículas de suciedad se depositan en el fondo del vaso. El condensado tiene que ser evacuado antes de que llegue al nivel máximo, ya que, de lo contrario, sería alimentado otra vez al flujo de aire.

El regulador de aire a presión tiene la función de mantener constante la presión de servicio (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que se produzcan en la presión de potencia (presión primaria) y del consumo de aire. El lubricador de aire a presión tiene la función de agregar aceite al aire en determinado tramo del sistema de distribución de aire, en caso de que el funcionamiento del sistema neumático así lo requiera.

### **6.2.2. Compresores**

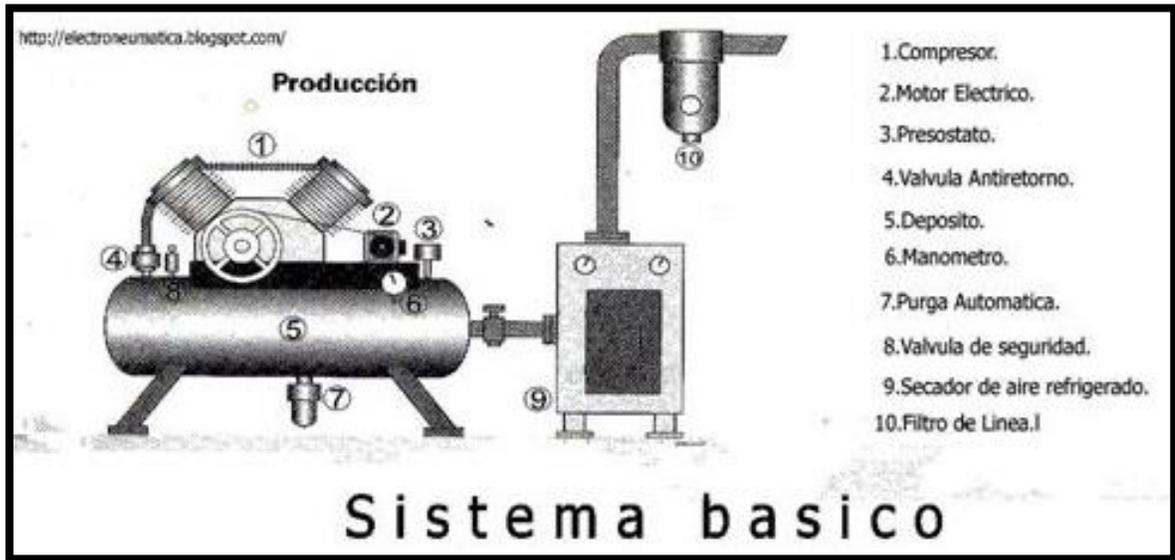
Un compresor es un equipo diseñado para aspirar aire, gas, o vapores que se encuentran a presión ambiental y los comprime aumentándole la presión deseada para que estos sean utilizados en una determinada aplicación.

Los tipos de compresores se dividen en 3 grandes ramas:

- a. Compresores rotativos
- b. Compresores de pistón
- c. Turbo compresores
- d. Compresores de tornillo

### 6.2.3. Compresor de Pistón.

Los compresores de pistón tienen una configuración característica como se muestra en la Figura 6.1.



**Figura 6.1.** Sistema básico de un compresor de pistón.

Como su nombre indica, el compresor de pistón centra su funcionamiento en el movimiento de uno o varios pistones.

Lo que permite que funcionen los compresores de pistón es el movimiento hacia adelante y hacia atrás de los pistones al interior de un cilindro. El movimiento continuo del pistón se apoya en el uso de un cigüeñal y una varilla de conexión que hará las veces de guía para el movimiento.

Los compresores de pistón pueden tener un único cilindro que le dé una capacidad de compresión baja, aunque se les puede agregar una mayor cantidad de cilindros, lo que aumente exponencialmente su capacidad de compresión y el nivel de presión al que se somete el flujo dentro de los compresores.

Cuando se tienen varios cilindros con varios pistones, la presión del fluido aumenta de un cilindro a otro, es decir, en el primer cilindro se le aplica una

presión determinada al fluido, a esta presión se le sumará la presión del segundo y así sucesivamente.

#### **6.2.3.1. Desempeño**

En el desempeño de un compresor influyen diversos factores, tales como las propiedades del gas, espacios libres internos, la proporción entre longitud y diámetro de los pistones, la relación de compresión incorporada y la velocidad de operación.

Aunque todavía no han encontrado formas prácticas de presentar el desempeño de los compresores para varios tamaños y condiciones de admisión y expulsión, en un solo diagrama o distribución gráfica, pueden hacerse estimaciones empíricas para los compresores centrífugos convencionales mediante el empleo de las gráficas y tablas.

Por esta razón la escogencia adecuada del compresor es de suma importancia para asegurar la mayor eficiencia, tomando en cuenta todos los factores descritos al principio.

#### **6.2.3.2. Ventajas de los compresores de embolo.**

- a. Las opciones de materiales del sistema de compresión y la carcasa son abundantes para los compresores centrífugos.
- b. Menor costo de mantenimiento y duración de los tiempos muertos que otros tipos de compresores. Poca dependencia de servicio técnico.
- c. La flexibilidad para el control de flujo es superior a la de otros tipos de compresores.
- d. Capacidad de compresión variable. Dependiendo de la cantidad de cilindros, la capacidad de compresión puede aumentar o disminuir, según las necesidades del proceso.

- e. Adaptables. Los compresores de pistón pueden adaptarse al tipo de uso y de proceso industrial para el que se requieran.
- f. Existen en una amplia gama caudales y presiones por lo que resultan ser los más prácticos y utilizados de entre todos los compresores.

#### **6.2.3.3. Desventajas de los compresores de embolo.**

- a. El aire producido es solo el 75% del aspirado, sacrificando eficiencia aumentando así el costo energético.
- b. El nivel sonoro producido es muy alto por desgaste de piezas y vibraciones de la carcasa; por lo que es un factor que debe tomarse en cuenta.
- c. El aire producido decrece conforme avanza el tiempo, debido a desgaste de piezas, comprometiendo así la eficiencia del compresor.
- d. La corrosión y desgaste del sistema de compresión y de la carcasa afectan el desempeño. Los espacios libres agrandados provocan efectos de reciclaje o de desplazamiento del gas.
- e. Sensibilidad y susceptibilidad a la temperatura de descarga que pudiera afectar holguras estrechas y, como consecuencia, la facilidad de operación y disponibilidad.

#### **6.2.4. Depósito de aire.**

El tamaño del depósito es función del consumo de aire comprimido y de la potencia del compresor. Como por principio, en las industrias con equipos neumáticos el depósito debe desempeñar una función de acumulador, casi siempre con un consumo continuo que puede calcularse dentro de estrechas tolerancias, puede determinarse el tamaño del acumulador de forma relativamente sencilla.

Una manera sencilla y rápida de determinar el tamaño del depósito de aire para compresores, es tomando el volumen total que suministra el compresor o los compresores a la red, y la tercera parte de este volumen es igual a la capacidad mínima del tanque.

$$V_T = \frac{V_R}{3}$$

Dónde:

$V_T$  = Volumen del depósito de aire.

$V_R$  = Volumen entregado por el(los) compresor(es).

Este cálculo solo puede interpretarse como una regla empírica, y en ciertos casos deberán de considerarse todos los factores. Los manuales y las hojas de características de los fabricantes de compresores sirven de ayuda para llevar a cabo esta misión.

Naturalmente, el tamaño del acumulador depende también de otros factores como, por ejemplo, la regulación del funcionamiento del compresor y de la frecuencia de conexión máxima, pero las más decisivas son la función de acumulación y el consumo proporcionalmente continuo de aire comprimido. La función del acumulador es necesaria, porque en caso de perturbaciones, por ejemplo, fallo de la corriente, los dispositivos neumáticos deben alcanzar su posición de partida o de reposo.

Los depósitos deberían instalarse al aire libre (y si ello fuera posible a la sombra de algún edificio). Esto mejora la refrigeración del aire comprimido y la separación del agua condensada; puesto que el calor liberado no puede calentar un recinto tal vez demasiado pequeño. Si se instalan los acumuladores en un recinto demasiado pequeño debe procurarse una buena aireación.

Además los acumuladores de aire comprimido sirven para equilibrar las fluctuaciones de presión dentro de una red, con el fin de garantizar a todos los consumidores una presión de trabajo lo más uniforme posible.

Además, los acumuladores son también necesarios dentro de los sistemas neumáticos de mano o dentro de una instalación, sobre todo si en estos se incluyen elementos neumáticos de trabajo con gran consumo periódico y repentino de aire comprimido, ya que sin el acumulador podría desaparecer momentáneamente la presión de la red cada vez que se conectara un gran consumidor de aire, debido al fuerte y repentino consumo.

#### **6.2.5. Tuberías.**

Las tuberías de aire comprimido pueden tener desde algunos milímetros de diámetro interior hasta varios centímetros, pudiendo ser de goma, plástico o metal, pero nunca debe emplearse el antiguo tubo de gas.

#### **6.2.6. Red de aire comprimido.**

Se entiende por red de aire comprimido el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente unidas entre sí y que conducen al aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales. Los criterios principales de una red son la velocidad de circulación y la caída de presión en las tuberías así como la estanqueidad de la red en conjunto.

#### **6.2.7. Planeamiento de una red de aire comprimido.**

Para la determinación del diámetro interior, la magnitud decisiva es el consumo de aire comprimido o más una reserva adicional para los equipos neumáticos que en corto tiempo puedan incorporarse.

Además de esto, existen valores procedentes de la práctica que indican cuál debe ser la velocidad de circulación y la caída de presión en la tubería. La selección del diámetro interior de la tubería depende de:

- a. La velocidad de circulación admisible
- b. La pérdida admisible de presión
- c. La presión de trabajo
- d. El número de puntos de estrangulación existentes en la tubería
- e. La longitud de la tubería

#### **6.2.8. Aplicaciones del aire comprimido.**

Entre las ventajas inherentes al material de aire comprimido se cita, en primer lugar, la seguridad de funcionamiento y de empleo, no solo en lo que concierne a las máquinas motrices y a las máquinas de trabajo, sino también, sobre todo, a la seguridad del mismo operario. Las máquinas de aire comprimido han logrado imponerse principalmente gracias a la simplicidad de su concepción y se aprecia siempre, de manera particular el hecho de que su funcionamiento puede ser comprendido incluso por los que no poseen más que conocimientos técnicos generales restringidos. La ventaja de la seguridad personal reside en la propiedad de aire comprimido de no ser tóxico ni inflamable.

Las tuberías no defectuosas disminuyen el rendimiento de la instalación, pero no la seguridad, ventaja que asegura al aire comprimido, con exclusividad, campos enteros de aplicación. Una red de aire comprimido puede ser sobrecargada sin que la seguridad de la explotación o las canalizaciones sufran por ello, propiedad que, con excepción del vapor, solo posee el aire comprimido. Por el contrario, no puede producir más que esfuerzos limitados que dependen de las dimensiones de la máquina y de la presión de aire, lo que es susceptible de presentar importancia no solamente para las herramientas a mano, sino igualmente para regulaciones neumáticas.

Una característica agradable de los motores accionados por aire comprimido es la facilidad de regulación de la velocidad de rotación que no es, sin embargo, rentable desde todos los puntos de vista de la explotación.

Naturalmente, el aire comprimido tiene también sus inconvenientes como por ejemplo, la humedad que contiene, puesto que, a medida que la relación de compresión isotérmica aumente, se condensa, por lo tanto debe ser evacuada para evitar que provoque averías.

Se sabe que con los aparatos usuales, solo el agua en estado líquido puede ser separada de manera que en caso de fuerte expansión del aire comprimido y como consecuencia de la baja temperatura que de ello resulta, aparecen fenómenos de formación de escarcha. Además de una buena separación del agua, que es preferible practicar después de la compresión y el enfriamiento del aire, es indispensable filtrar cuidadosamente el aire de aspiración. Esta filtración protege al compresor así como a los útiles neumáticos contra un desgaste exagerado.

El aire aspirado por el compresor siempre contiene cierto grado de humedad en forma de vapor de agua. Ese contenido de humedad es expresado en un porcentaje de humedad relativa. La humedad relativa depende de la temperatura y de la presión. Cuanto mayor es la temperatura del aire, tanto más vapor de agua puede contener el aire. Si se alcanza el 100% de humedad relativa, el agua se condensa y se deposita en las paredes.

Si la evacuación del condensado es insuficiente, éste pasa al sistema y puede causar corrosión en tuberías, válvulas, cilindros y otros elementos, además de un lavado de la lubricación de piezas móviles. De este modo se produce una merma del funcionamiento de los elementos y, además, una inactivación precoz del sistema.

### **6.3. Metodología**

Lo primero que se hizo fue establecer las condiciones del lugar donde operará la nueva red de distribución de aire comprimido. La planta de extracción de agregados Quebrador Ochomogo Ltda., se encuentra ubicada en Llano grande, distrito del cantón de Cartago y de la provincia de Cartago. Llano grande se encuentra a una altura de 1700 m.s.n.m., posee una temperatura promedio de 20

°C, una presión atmosférica promedio de 0,84 Bar. Mientras que los elementos neumáticos poseen una presión manométrica máxima de 6 bares.

La red de aire comprimido que necesita la maquina es muy pequeña comparándola con un sistema de varios equipos de consumo, por esta razón se realizó en una disposición de circuito abierto en donde los ramales lleguen a los puntos de consumo, se tomaran en cuenta un porcentaje de factor de fugas y de futuras ampliaciones.

Después se procedió a determinar los puntos en donde se utilizara el aire comprimido, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 6.1.** Puntos de consumo de aire comprimido del filtro prensa.

Salida	Equipo	Presión de Trabajo (BAR)	Presión de Trabajo (PSI)	Factores de uso (Ciclos/min)	Consumo (CFM)	Consumo (l/min)
1	Válvula descarga Balsa (cuchilla 6")	6	88	0,33	0,42	11,87
2	Válvula alimentación bomba (cuchilla 6")	6	88	0,10	0,13	3,60
3	Válvula retorno aire/lodo (bola 3")	6	88	0,10	0,13	3,60
	Válvula entrada filtro (bola 4")	6	88	0,10	0,13	3,60
4	Tanque	6	88	--	3,53	100

Para el procedimiento del cálculo de diámetro de tuberías se tomó en cuenta la presión mínima del sistema, así como la velocidad del aire en la tuberías, se concluyó en utilizar tubería flexibles, por condiciones severas donde se instaló la máquina y también mayor flexibilidad al momento de mover las tuberías. Una vez conocidas estas condiciones en las que se instalara el aire comprimido, así como el factor de fugas y el factor de ampliación se seguirá con las demás variables que rigen el sistema.

### 6.3.1. Calculo de la presión absoluta del sistema.

Para determinar la presión absoluta del sistema se debe conocer que, para que el sistema de aire comprimido se desempeñe bien, no debe haber una caída de presión mayor al 2% entre el compresor y el útil neumático.

A continuación se procede a determinar la presión mínima a la que puede trabajar el sistema, la cual se obtiene de la suma de la presión atmosférica y la presión manométrica más el 2% de las mismas.

$$P_{min} = (P_{man} + P_{atm}) * 2\% + P_{man} + P_{atm}$$

$$P_{min} = (6 + 0,84) * 2\% + 6 + 0,84$$

$$P_{min} = 6,98$$

Dónde:

$P_{min}$  = Presión mínima del sistema en bar.

$P_{man}$  = Presión manométrica del sistema en bar.

$P_{atm}$  = Presión atmosférica del lugar en bar

Ahora se obtiene la presión de conexión y desconexión del compresor:

$$P_{conex} = P_{min} - P_{atm}$$

$$P_{conex} = 6,98 - 0,84$$

$$P_{conex} = 6,14 \text{ bar}$$

$$P_{desconx} = P_{conex} + 1$$

$$P_{desconx} = 6,14 + 1$$

$$P_{desconx} = 7,14 \text{ bar}$$

Dónde:

$P_{desconex}$  = Presión de desconexión de los compresores en bar.

$P_{conex}$  = Presión de conexión de los compresores en bar.

Con estos datos de conexión y desconexión del compresor se fijan las posiciones en que trabajara el compresor para mayor facilidad este rango va desde 6,5 bar a 7,5 bar. Y ya por último se obtiene la presión absoluta de todo el sistema.

$$P_{abs} = P_{conex} + P_{atm}$$

$$P_{abs} = 6,5 + 0,84$$

$$P_{abs} = 7,34 \text{ bar}$$

Donde,

$P_{abs}$  = Presión absoluta del sistema en bar.

$P_{conex}$  = Presión de conexión del compresor en bar.

$P_{atm}$  = Presión atmosférica del lugar en bar.

### **6.3.2. Calcula del caudal de diseño.**

Para obtener el caudal de diseño lo primero es calcular los consumos de los equipos, la mayoría son válvulas neumáticas que no son de gran consumo, también tenemos un tanque para almacenar aire con un consumo de 100 l/min, aquí lo importante son los factores de uso que se les dará a cada válvula en ciclos/min cada uno con diferente uso y tiempos durante el ciclo de la máquina de filtrado.

En la tabla 6.1 se muestra los factores de uso de cada válvula de esto dependerá la cantidad de aire comprimido que estas consuman, por lo tanto el caudal máximo será la suma de todos los caudales mostrados en la tabla 6.1.

Sin embargo con el caudal máximo se procederá a calcular el caudal de diseño que resulta el necesario para calcular la capacidad del compresor a utilizar, y para esto se utiliza la fórmula:

$$Q_{dis} = Q_{max}(ff + fa + 1)$$

$$Q_{dis} = 122,65(0,05 + 0,2 + 1)$$

$$Q_{dis} = 153,32 \text{ l/min}$$

$$Q_{dis} = 5,41 \text{ CFM}$$

Dónde:

$Q_{dis}$  = Caudal de diseño en CFM.

$Q_{max}$  = Caudal máximo en CFM.

ff = Factor de fugas en %.

fa = Factor de ampliación en %.

### 6.3.3. Nuevo factor de ampliación

Para obtener el nuevo factor de ampliación se debe considerar algo muy importante, como el caudal disponible. Para el caudal de diseño calculado en el apartado anterior es importante agregar el radio de expansión del aire que afecta el caudal real a utilizar pasando de CFM a ACFM con según tabla anexo 12, de la siguiente forma.

$$Q_{dis} = 5,41 * 1,151$$

$$Q_{dis} = 6,23 \text{ ACFM}$$

Para esta demanda de caudal en el sistema, se determinó comprar y utilizar un compresor con las siguientes características:

**Tabla 6.2.** Características del compresor a comprar.

<b>Marca</b>	ABAC
<b>Modelo</b>	A29
<b>Potencia motor (hp)</b>	2
<b>Caudal</b>	8,2 CFM – 232,19 l/min
<b>Alimentación</b>	110 V/ 60 Hz
<b>Capacidad tanque (l)</b>	100

Teniendo a disposición esta capacidad máxima de 8,2 CFM pero que en realidad a 100 psi se convierten en 7,12 CFM, por lo tanto con el caudal de diseño del compresor se puede obtener el nuevo factor de ampliación del sistema por medio de la siguiente ecuación:

$$fa = \frac{Q_{dis} - Q_{max} * ff - Q_{max}}{Q_{max}}$$

$$fa = \frac{7,12 - 4,33 * 0,05 - 4,33}{4,33}$$

$$fa = 0,59 = 59\%$$

Dónde:

$Q_{dis}$  = Caudal de diseño en CFM.

$Q_{max}$  = Caudal máximo en CFM.

ff = Factor de fugas en %.

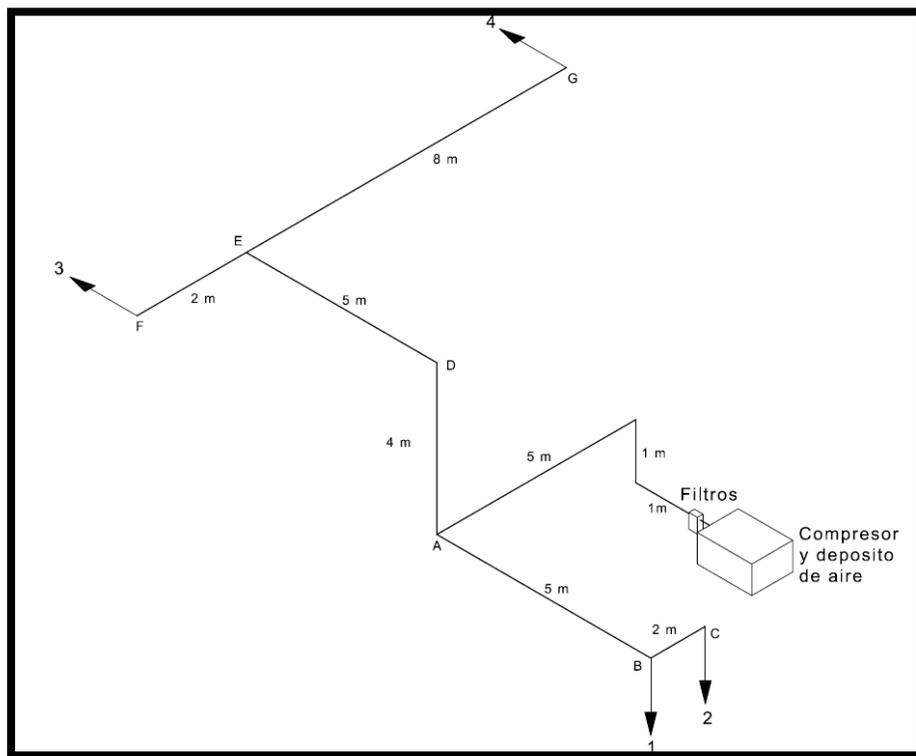
fa = Factor de ampliación en %.

Al observar un factor de ampliación tan grande, es normal preguntarse si no será mejor seleccionar un compresor de menor capacidad; sin embargo, la gerencia acordó utilizar uno de estos compresores como respaldo en caso de que alguno de los otros compresores utilizados en la empresa se dañe tengan un buen respaldo.

### 6.3.4. Selección de diámetro de tuberías.

El cálculo de los diámetros para las diferentes tuberías que usara el sistema de aire comprimido se realizara como se mencionó anteriormente en tubería flexible dadas las condiciones en donde trabajara el sistema filtro prensado, se dispondrá una configuración de circuito abierto en donde los ramales lleguen a los puntos de consumo para cada válvula y tanque donde sea necesario.

Lo primero que se realizo fue ubicar el lugar donde pasarían las tuberías flexibles, también el compresor, escogiendo un espacio amplio y cómodo para la salida de las tuberías. Con esta información se procedió a calcular el tamaño de las líneas del circuito abierto para determinar la posición de cada punto de consumo. En la siguiente figura se muestra el esquema de como quedara conformado el circuito de aire.



**Figura 6.2.** Circuito de aire comprimido utilizado en el sistema de filtro prensado.

A continuación en la siguiente tabla se muestran los caudales y distancia entre los puntos de la figura 6.1.

**Tabla 6.3.** Lista de caudales en cada tramo del circuito de aire comprimido.

Tramo	Longitud (m)	Caudal	
		(CFM)	(L/min)
Principal	7	4,33	122,65
A-B	5	0,55	15,46
B-C	2	0,42	11,87
A-D	4	3,78	107,19
D-E	5	3,78	107,19
E-F	2	0,25	7,19
E-G	8	3,53	100,00

Para obtener estos consumos en cada tramo, se calculan los consumos de cada válvula y se van sumando siguiendo la ruta del circuito de aire en cada tramo. El tramo principal llamamos al tramo que va desde el sistema compresor y recipiente de almacenamiento, hasta donde se diversifica la red, que sería en el punto A donde el aire se comienza a dispersar a las diferentes unidades.

Una vez calculadas las tuberías, los diámetros de los tramos DE y GE deben ser similares para no tener problemas de cambios bruscos de diámetros que puedan afectar la red.

Por ejemplo para calcular el caudal del tramo principal que mide 7 m, lo único que se debe hacer es sumar todos los caudales de todas las salidas que tendrá la red de aire comprimido, esto se hace como sigue.

$$Q_{principal} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_{principal} = 0,42 + 0,13 + 0,26 + 3,53$$

$$Q_{principal} = 4,34 \text{ CFM}$$

Donde,

$Q_{Principal}$  = tramo desde el compresor hasta el punto A.

Así es como se calcula el caudal del tramo principal del circuito de aire comprimido, para realizar los otros caudales se siguen la misma idea siguiendo la línea de suministro.

#### 6.3.4.1. Caudales de diseño.

Al escoger un compresor de 8,2 CFM esto nos suministra un nuevo factor de ampliación, diferente a los 20% pensados inicialmente, por lo que en cada tramo habrá un nuevo caudal de diseño mayor al calculado que es proporcional al caudal que puede entregar el compresor.

Lo que se hizo fue sumar cada consumo con el porcentaje de fugas (5%) y el nuevo factor de ampliación (50%) y así obtenemos los nuevos caudales, por ejemplo tenemos el nuevo caudal del tramo AB que se calcula de la siguiente manera.

$$(Q_{dis})_{AB} = Q_{AB} * (1 + fa + ff)$$

$$(Q_{dis})_{AB} = 0,55 * (1 + 0,59 + 0,05)$$

$$(Q_{dis})_{AB} = 0,90 \text{ CFM}$$

$$(Q_{dis})_{AB} = \mathbf{25,50 \text{ l/min}}$$

Donde,

$(Q_{dis})_{AB}$  = Nuevo caudal de diseño en el tramo AB en CFM.

ff = Factor de fugas en %.

fa = Factor de ampliación en %.

#### 6.3.4.2. Determinación de flujos másicos.

Para obtener los flujos másicos es necesario obtener la densidad del aire a las condiciones ambientales. Esta densidad es de  $1 \text{ kg/m}^3$ , con el dato de la densidad se puede calcular el flujo másico, simplemente multiplicando el nuevo caudal de diseño (de ese tramo) por ese dato de densidad que se acaba de obtener. El siguiente ejemplo ilustra cómo calcular ese flujo másico.

$$m_{AB} = \rho * (Q_{dis})_{AB} * 0,06$$

$$m_{AB} = 1 * 25,50 * 0,06$$

$$m_{AB} = 1,5 \text{ kg/h}$$

Donde,

$m_{AB}$  = flujo másico en Kg/ h.

0,06 = factor de conversión para pasar de minutos a horas y de  $\text{m}^3$  a litros.

#### 6.3.4.3. Índice de resistencia.

El siguiente paso es obtener el índice de resistencia, que es el grado medio de rugosidad y que varía con el caudal. Este índice es similar al factor de fricción para el agua y se obtiene por medio de la siguiente ecuación.

$$\beta_{AB} = 2,8466 * m_{AB}^{-0,1468}$$

$$\beta_{AB} = 2,8466 * 1,5^{-0,1468}$$

$$\beta_{AB} = 2,68$$

Donde,

$\beta_{AB}$  = índice de rugosidad

$m_{AB}$  = flujo másico en Kg/ h.

2,8466 = constante de la ecuación

-0,1466 = constante de la ecuación

#### 6.3.4.4. Diámetro de las tuberías.

Para el cálculo de las tuberías se determinan valores máximos de velocidad; 8 m/s para las tuberías principales, 10 m/s para las tuberías secundarias y 15 m/s para las tuberías de servicio o bajantes, así lo recomienda la teoría para el buen funcionamiento del sistema.

$$d_{AB} = \sqrt{\frac{(Q_{dis})_{AB} * 100}{4,71 * P_{abs} * V_{AB}}}$$

$$d_{AB} = \sqrt{\frac{25,50 * 100}{4,71 * 7,34 * 10}}$$

$$d_{AB} = 2,72 \text{ mm}$$

Donde,

$d_{AB}$  = diámetro del tramo AB en mm

$(Q_{dis})_{AB}$  = caudal disponible en el tramo AB en l/min.

$P_{abs}$  = presión absoluta del sistema en Bar

$V_{AB}$  = velocidad en el tramo AB en m/s

100 = constante de la ecuación

4,71 = constante de la ecuación

De acuerdo con las medidas estándar de los diámetros de las tuberías comerciales, se seleccionan los diámetros de la tubería siguiente más alto y de la

misma forma para los demás tramos de la red, esta tabla de diámetros nominales la podemos encontrar en el anexo 13.

a) Tubería para el tramo **AB**

Diámetro Interno: 2,72 mm

Diámetro nominal: 6,3 mm (1/4 pulg)

#### 6.3.4.5. Caída presión en la tubería.

Las pérdidas en la tubería están relacionadas con el diámetro y la longitud de las tuberías, como se muestra en la siguiente expresión.

$$\Delta P_{AB} = \frac{\beta * (Q_{dis})_{AB}^2 * 15,2 * L_{AB}}{T * (d_{sel})_{AB}^5 * P_{abs}}$$

$$\Delta P_{AB} = \frac{2,68 * 25,50^2 * 15,2 * 5}{293,15 * 13,84^5 * 7,34}$$

$$\Delta P_{AB} = 0,12 \text{ mBar}$$

Donde,

$\Delta P_{AB}$  = caída de presión en el tramo AB en bar

$\beta_{AB}$  = índice de rugosidad

$(Q_{dis})_{AB}$  = caudal disponible en el tramo AB en l/min.

$P_{abs}$  = presión absoluta del sistema en Bar

$L_{AB}$  = longitud del tramo AB

T = temperatura en Kelvin

$(d_{sel})_{AB}$  = diámetro seleccionado en mm

15,2 = constante de la ecuación

Hasta el momento se tiene definida la caída de presión por cada tramo, según los diámetros seleccionados. Luego, se debe confirmar si esta caída de presión obtenida es menor a la permitida para ese tramo. Para obtener esa caída permitida se debe recordar que el sistema solamente permite caer un 2% de la presión total del mismo, por lo que se obtendría.

$$\Delta P_{sist} = 7,34 * 0,02$$

$$\Delta P_{sist} = 0,147 \text{ bar} = 147 \text{ mbar}$$

Donde,

$\Delta P_{sist}$  = caída del sistema en bar

El 2% de 7,34 bar es 147 mbar y esta es la caída máxima que puede haber hasta el punto G que es el bajante más largo. Entonces para obtener la ruta crítica del sistema se debe tomar el dato de 147 mbar y dividirlo entre la distancia al punto más lejano en el sistema para así obtener la caída de presión permitida por metro.

$$(\Delta P_{max})_{sist} = 147 \text{ mbar} / 24 \text{ m}$$

$$(\Delta P_{max})_{sist} = 6,12 \text{ mbar} / \text{m}$$

Donde,

$(\Delta P_{max})_{sist}$  = caída máxima permitida del sistema por metro en mbar/m

El resultado indica que para que no haya problemas de presión en el circuito, debe haber una caída máxima de presión de 6,12 mbar por cada metro. Con esta información se puede conocer si los diámetros seleccionados son los correctos; y en caso de que no sean, entonces seleccionar el siguiente diámetro mayor, hasta lograr que no se sobrepase esa caída de presión permitida.

$$\Delta P_{Principal} = \left( 6,12 \frac{\text{mbar}}{\text{m}} \right) * 7 \text{ m}$$

$$\Delta P_{Principal} = 42,84 \text{ mbar}$$

Dónde,

$\Delta P_{principal}$  = caída máxima permitida en el tramo principal en mbar

Comparando la caída de presión del tramo principal con la caída de presión permitida en el mismo tramo, se puede concluir que la primera es menor que la permitida, por lo que se afirma que se seleccionó el diámetro correcto. De la misma forma se hace con los tramos restantes, sin embargo es seguro afirmar que no tendremos problemas en caída de presiones, ya que al comprar las tuberías se compraron de un diámetro mayor al mínimo de ½ pulgada en general, aunque las caídas serán mayores aún están dentro del rango mínimo del 2%.

A continuación se muestra tabla resumen donde están los cálculos de selección de tuberías.

**Tabla 6.4.** Calculo de selección de tuberías para el circuito de aire comprimido.

Tramo	Long tuber. (m)	Q (CFM)	Q <sub>dis</sub> (CFM)	Diam interno (mm)	Diam nom. (mm)	Flujo masa (kg/h)	β	Velocic .Real (m/s)	Diam inter. real (mm)	Caida presión (mBar)	Caida max perm (mBar)	Estado
<b>Princip</b>	7	4,33	7,12	8,5	9,5	12,1	1,98	3,05	13,84	7,86	45,73	OK
<b>A-B</b>	5	0,55	0,90	2,7	6,3	1,5	2,69	0,38	13,84	0,12	106,39	OK
<b>B-C</b>	2	0,42	0,69	2,4	6,3	1,2	2,80	0,29	13,84	0,03	42,56	OK
<b>A-D</b>	4	3,78	6,23	7,1	9,5	10,6	2,02	2,66	13,84	3,50	26,13	OK
<b>D-E</b>	5	3,78	6,23	7,1	9,5	10,6	2,02	2,66	13,84	4,37	32,67	OK
<b>E-F</b>	2	0,25	0,42	1,9	6,3	0,7	3,01	0,18	13,84	0,01	15,67	OK
<b>E-G</b>	8	3,53	5,81	6,9	9,5	9,9	2,04	2,49	13,84	6,15	52,27	OK

### 6.3.5. Selección diámetro de bajantes.

En lo que respecta a bajantes se utilizó el mismo sistema que en de las tuberías en general, pero con algunos puntos diferentes que se explicaran a continuación.

### 6.3.5.1. Caudal de diseño.

Los caudales de diseño son el resultado de la suma del caudal en el punto de consumo más este mismo caudal por su porcentaje de fugas (5%). No se utiliza el factor de ampliación porque ya fue utilizado para seleccionar las tuberías del circuito abierto y un ejemplo de este caudal obtenido es el siguiente del bajante 1.

$$(Q_{dis})_1 = Q_1 * (1 + ff)$$

$$(Q_{dis})_1 = 11,9 * (1 + 0,05)$$

$$(Q_{dis})_1 = 12,5 \text{ l/min}$$

Donde,

$(Q_{dis})_1$  = caudal de diseño en el punto de consumo 1 en L/min.

ff = factor de fugas en %.

### 6.3.5.2. Determinación de flujos máxicos.

Para el cálculo de los flujos máxicos, se necesita el valor de la densidad del aire obtenido anteriormente  $\rho = 1\text{Kg} / \text{m}^3$ . Ahora con estos datos se procede a obtener el flujo máxico de la misma forma en que se había calculado anteriormente.

$$m_1 = \rho * (Q_{dis})_1 * 0,06$$

$$m_1 = 1 * 12,5 * 0,06$$

$$m_1 = 0,75 \text{ kg/h}$$

Donde,

$m_1$  = flujo máxico en kg/ h.

0,06= factor de conversión para pasar de minutos a horas y de m<sup>3</sup> a litros.

$\rho$  = densidad del aire en Kg/ m3.

$(Q_{dis})_1$  = caudal de diseño en el punto de consumo 1 en L/min.

### 6.3.5.3. Determinación de flujos máscicos.

El siguiente paso es obtener el índice de resistencia de la misma forma que se hizo en el apartado anterior, por medio de la ecuación:

$$\beta_1 = 2,8466 * m_1^{-0,1468}$$

$$\beta_1 = 2,8466 * 0,75^{-0,1468}$$

$$\beta_1 = 2,97$$

Donde,

$\beta_1$  = índice de rugosidad

$m_1$  = flujo máscico en Kg/ h.

2,8466= constante de la ecuación

-0,1466 = constante de la ecuación

### 6.3.5.4. Calculo de diámetros de bajantes.

Para el cálculo de los diámetros se determinan un valor máximo de velocidad de 15 m/s para las tuberías de servicio o bajantes. El diámetro del bajante lo determina la siguiente forma, tomando como ejemplo otra vez el bajante 1.

$$d_1 = \sqrt{\frac{(Q_{dis})_1 * 100}{4,71 * P_{abs} * V_1}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{12,5 * 100}{4,71 * 7,34 * 15}}$$

$$d_1 = 1,55 \text{ mm}$$

Donde,

$d_1$  = diámetro en el punto de consumo 1 en mm

$(Q_{dis})_1$  = caudal disponible en el punto de consumo 1 l/min.

$P_{abs}$  = presión absoluta del sistema en Bar

$V_1$  = velocidad en el punto de consumo 1 en m/s

100 = constante de la ecuación

4,71 = constante de la ecuación

Se observa que el valor del diámetro mínimo es sumamente pequeño, por lo que se escogerá el inmediato más grande que podría ser de ¼ pulgada (6,3 mm) o de 3/8 pulgada según disponibilidad que se tenga de este tipo de tubería.

#### 6.3.5.5. Caída presión en los bajantes.

Las pérdidas en la tubería están relacionadas con el diámetro y la longitud de las tuberías, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\Delta P_1 = \frac{\beta_1 * (Q_{dis})_1^2 * 15,2 * L_1}{T * (d_{sel})_1^5 * P_{abs}}$$

$$\Delta P_1 = \frac{2,97 * 12,50^2 * 15,2 * 2}{293,15 * 7,99^5 * 7,34}$$

$$\Delta P_1 = 0,20 \text{ mbar}$$

Donde,

$\Delta P_1$  = caída de presión en el punto de consumo 1 en bar

$\beta_1$  = índice de rugosidad

$(Q_{dis})_1$  = caudal disponible en el punto de consumo 1 en l/min.

$P_{abs}$  = presión absoluta del sistema en Bar

$L_1$  = longitud al punto de consumo 1 en m

$T$  = temperatura en K

$(d_{sel})_1$  = diámetro seleccionado para el punto de consumo 1 en mm

15,2 = constante de la ecuación

Hasta el momento se tiene definida la caída de presión por cada punto de consumo, según los diámetros seleccionados. Seguidamente se debe obtener la caída de presión permitida para ese punto. Esa caída permitida se obtiene diferente a la forma que se hizo para las tuberías del circuito abierto; para este caso lo que se hace es ir sumando todas las caídas en los tramos hasta llegar a sumarla con la del punto de consumo y así obtener un valor total de caída de presión, por lo tanto.

$$(\Delta P_{total})_1 = \Delta P_{principal} + \Delta P_{AB} + \Delta P_1$$

$$(\Delta P_{total})_1 = 7,86 + 0,12 + 0,20$$

$$(\Delta P_{total})_1 = \mathbf{8,18 \text{ mbar}}$$

Donde,

$(\Delta P_{total})_1$  = caída total hasta el punto de consumo 1 en mbar

$\Delta P_{Principal}$  = caída en el tramo OA en mbar

$\Delta P_{AB}$  = caída en el tramo AB en mbar

$\Delta P_1$  = caída en el punto de consumo 1 en mbar

De la misma forma se realiza con los demás puntos de consumo y se comparan con la caída máxima del sistema, que para el presente caso es de 2% de la

presión absoluta. Para estar seguros de que el bajante está bien dimensionado, estas caídas no deben sobrepasar los 147 mbar, que es el 2% de los 7,34 Bar de presión absoluta.

A continuación se muestra una tabla con el resumen de todos estos cálculos para la selección de los bajantes.

**Tabla 6.5.** Calculo de selección de bajantes para el circuito de aire comprimido.

Bajant.	Long tuber. (m)	Q (CFM)	Q <sub>dis</sub> (CFM)	Diam interno (mm)	Diam nom. (mm)	Flujo masa (kg/h)	$\beta$	Velocic .Real (m/s)	Diam inter. real (mm)	Caida presión (mBar)	Caida max perm (mBar)	Estado
1	2	11,9	12,5	1,6	6,3	0,7	2,99	0,56	8,0	0,20	8,18	OK
2	2	3,6	3,8	0,9	6,3	0,2	3,57	0,17	8,0	0,02	8,03	OK
3	2	7,2	7,6	1,2	6,3	0,5	3,22	0,34	8,0	0,08	15,82	OK
4	2	100	105,0	4,5	12,4	6,3	2,18	1,59	13,8	0,67	22,55	OK

Al momento de pensar en una red de aire comprimido, se debe tener presente que para diseñarla hay que hacerlo hacia los puntos más críticos. En la Tabla 6.3 se muestran los diámetros calculados hacia el destino más crítico de cada punto de consumo y es el criterio que se usó para el cálculo de estos bajantes.

Como se mencionó antes se usaron en el circuito de aire, tuberías de 12,5 mm (1/2 pulg) para la mayor parte de tuberías, para los bajantes se utilizaran por medio de reducciones tuberías de 6,3 mm (1/4 pulg) estos para los bajantes. En el bajante 3 se suministra aire para 2 válvulas las cuales con una tubería en T se distribuye el aire a cada una. En el caso del bajante 4 que se trata de un tanque de aire, el bajante se siguió igual a la tuberías de circuito en 1/2 pulg.

Comercialmente las tuberías no se piden en milímetros, por lo que se deben solicitarlas en pulgadas. En el mercado nacional se encuentran todos los diámetros especificados, por lo que se debe seleccionar uno de estos y hacer la conversión a pulgadas.

De esta forma se diseñó e instaló el circuito de aire comprimido en el sistema filtro prensa, es un circuito relativamente sencillo pero en el que se hicieron los pasos indicados para su correcto diseño e implementación. Los datos técnicos del compresor comprado, de las tablas de tuberías para la selección de equipos, y accesorios estará en los anexos para su consulta de ser así necesario.

## **7. Capítulo 7. Elaboración del programa de mantenimiento preventivo.**

---

## 7.1. Marco teórico.

En el quebrador Ochomogo se engloban conceptos de mantenimiento muy estrictos, trabajando en el concepto de mantenimiento de agregados LATAM, esta es una ideología originaria de la empresa Holcim, pero que es la misma que sigue en el Quebrador Ochomogo por su antiguo pasado de ser parte de la empresa de cemento.

El mantenimiento se ejecutara teniendo en cuenta dos premisas, las operaciones en el quebrador son pequeñas y poco complejas, no se puede manejar sistemas complicados o con una gestión excesiva que afecte la ejecutoria o eleve los costos; y por otro lado el equipo es relativamente sencillo, aunque siempre teniendo en cuenta que se manejan equipos muy costosos.

El sistema de mantenimiento esta hecho en forma de pirámide, siempre teniendo en cuenta un ciclo de mejora continua, con el mostrado en la siguiente figura.

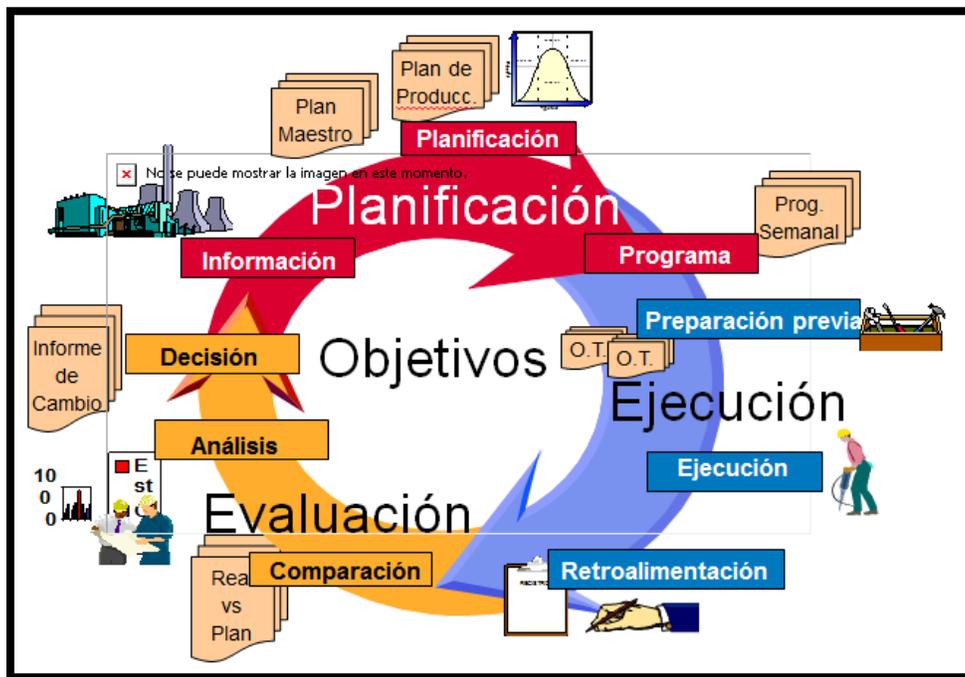


Figura 7.1. Ciclo de mejora continua.

### **7.1.1. Estrategia y objetivos de mantenimiento.**

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" no funcionan. Fueron usadas en el pasado, pero ahora sabemos que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.) y, por ello, las empresas industriales se plantearon llevar a cabo procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de mantenimiento.

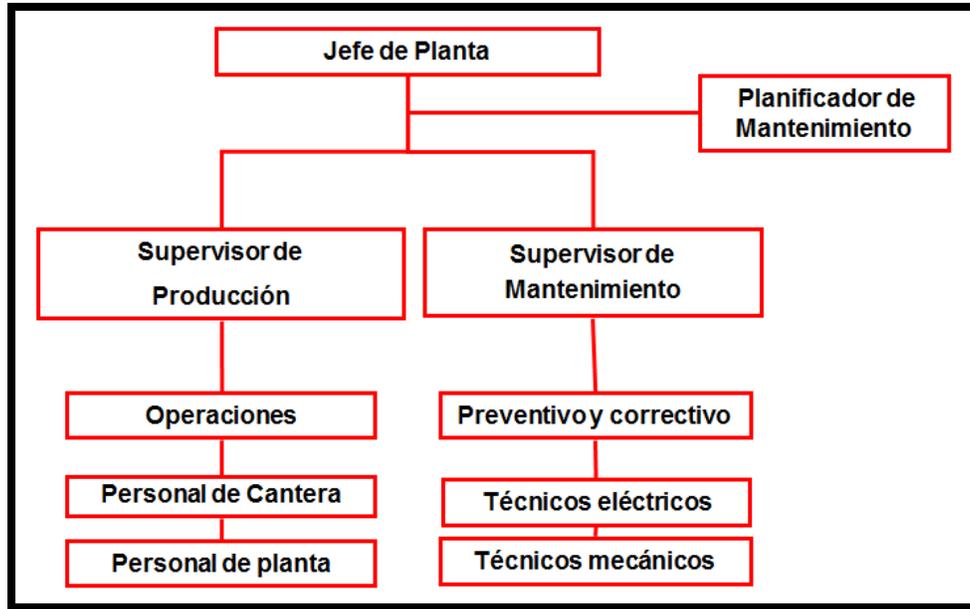
De un buen mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con disciplina para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los presupuestos destinados a mantenerlas o la optimización de costos.

En el área de mantenimiento se persiguen objetivos, el principal objetivo del mantenimiento es el asegurar que, los activos de la compañía estén en una condición tal, que puedan cumplir con los compromisos de cantidad y calidad de producción, a un costo competitivo, con seguridad y respeto al medio ambiente.

### **7.1.2. Estructura organizacional de mantenimiento.**

La estructura organizacional de mantenimiento debe estar alineada con los objetivos y las estrategias de mantenimiento, los roles y responsabilidades deben estar claramente definidos, y que garanticen la sostenibilidad del sistema de mantenimiento y de los programas que se implementen.

A continuación se muestra en la siguiente figura la estructura organizacional utilizada en la empresa.



**Figura 7.2.** Estructura organizacional de mantenimiento.

### 7.1.3. Flujo de gestión de mantenimiento.

Muestra cual debe ser el proceso que siguen las actividades de mantenimiento, los puntos de control y los diferentes documentos de control o ejecución asociados a cada actividad. Con el flujo se definen acciones y responsabilidades, las cuales a su vez demandan competencias y conocimientos de los ejecutantes.

Se definieron dos flujos de mantenimiento que son seguidos en el quebrador, el primero el diagrama de flujo del mantenimiento preventivo, y el segundo el diagrama de flujo del mantenimiento correctivo, los dos se muestran en las siguientes figuras.

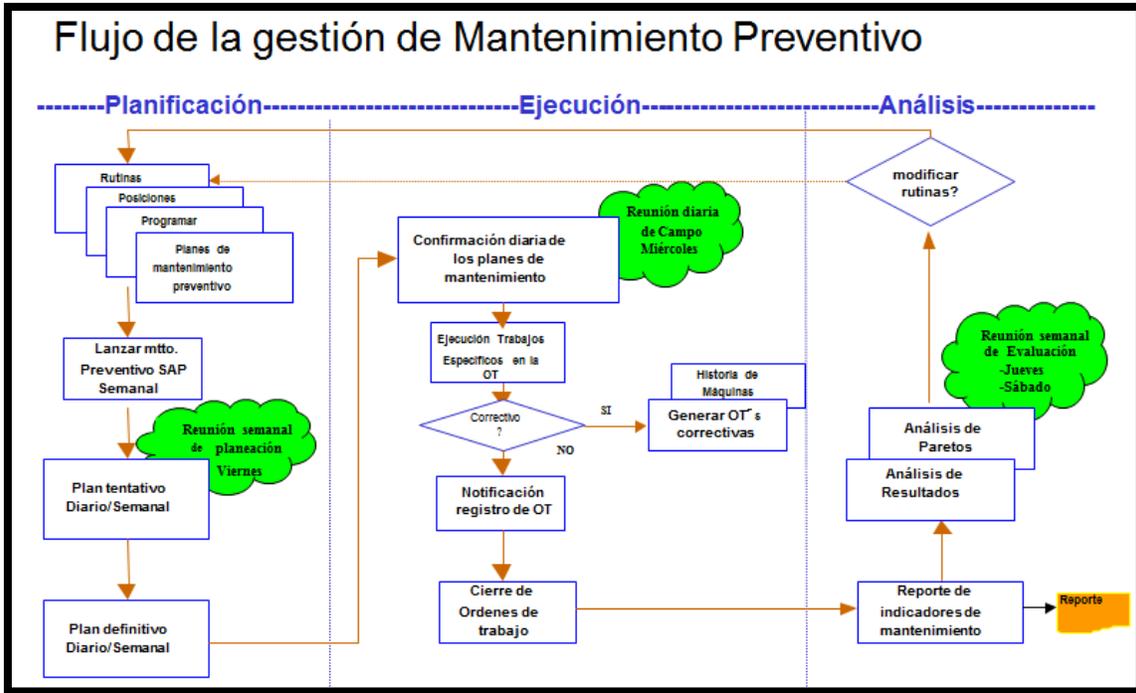


Figura 7.3. Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo.

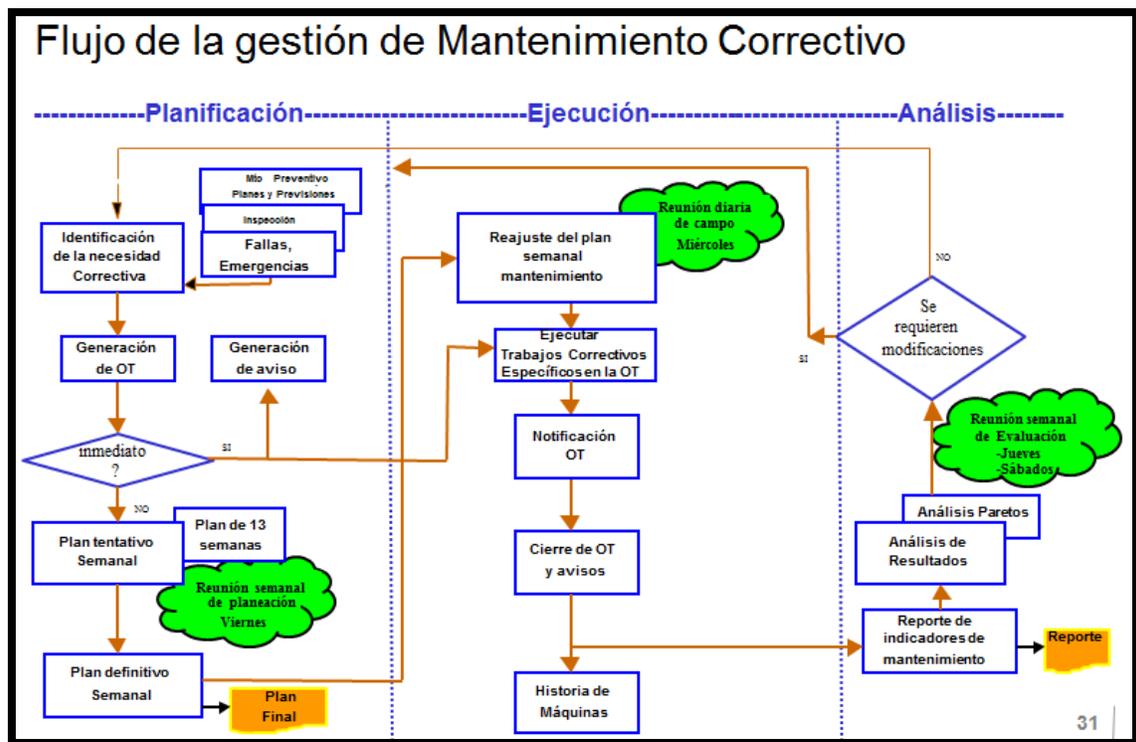


Figura 7.4. Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo.

#### **7.1.4. Planes de mantenimiento.**

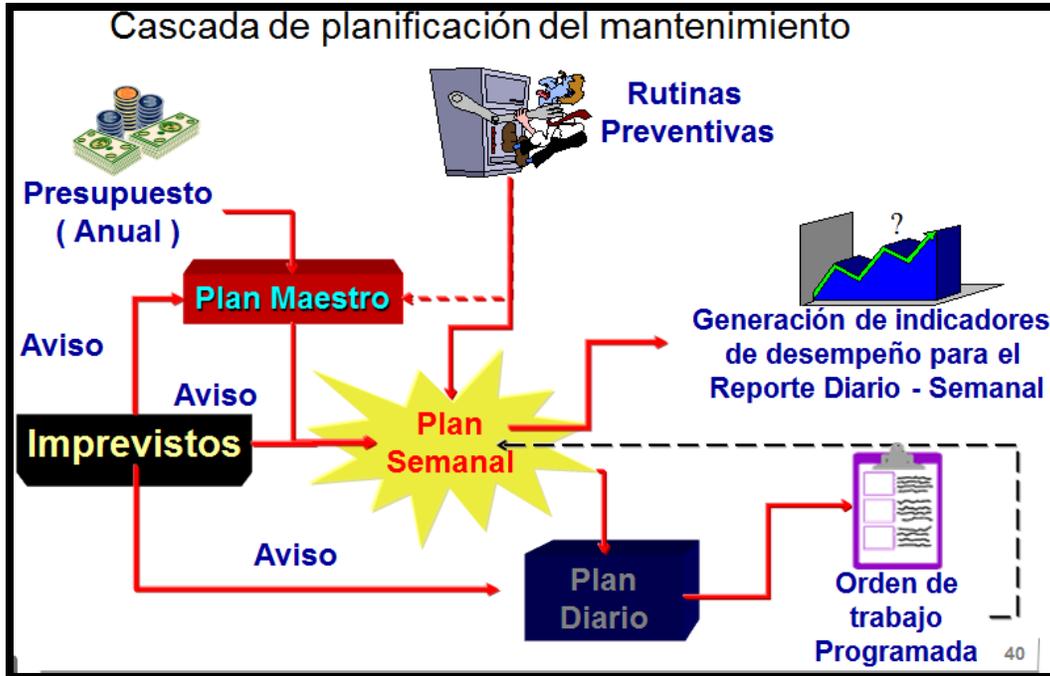
Lo primero a tener en cuenta es el plan mensual de mantenimiento, es una actividad que permite planificar las actividades de mantenimiento más relevantes en el corto plazo, tomando en cuenta los requerimientos de producción (calidad y cantidad).

El resultado de la actividad es un programa de trabajo que considera la programación de paros correctivos y preventivos, la programación de reparaciones relevantes de los equipos, la programación de repuestos requeridos, la programación de necesidades de mano de obra y la estimación de costo.

El proceso de ejecución del mantenimiento se puede describir de la siguiente forma:

- a. En el Plan Maestro se planifican los recursos y se revisa la capacidad de efectuar las actividades de mantenimiento durante ese período.
- b. En Plan Semanal se priorizan las tareas de mantenimiento, planifica los recursos y los requerimientos.
- c. En el Plan Diario en el cual se asignan las tareas a las personas y se reprograman actividades sobre una base diaria.

A continuación se muestra un diagrama de planificación donde podemos ver la ruta a seguir en un programa semanal de mantenimiento y su importancia de este en la estructura de mantenimiento.



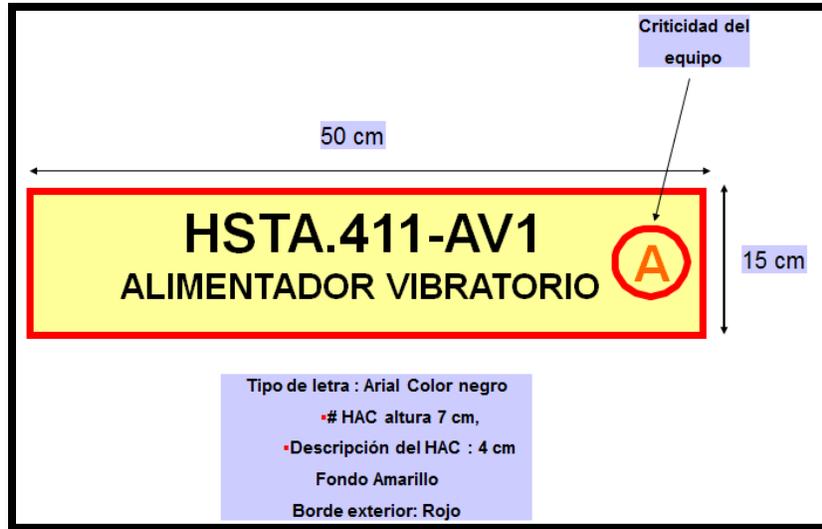
**Figura 7.5.** Cascada de planificación del mantenimiento.

El plan semanal de mantenimiento culmina con el plan diario, el cual es fase de ejecución de toda la cascada de planificación y se traduce en:

- a. Actividades diarias de mantenimiento preventivo y correctivo.
- b. Labores de preparación en taller o externas.
- c. Actividades durante la parada semanal de mantenimiento de la planta, en la cual participa todo el personal.

#### **7.1.5. Codificación de equipos.**

Es un sistema de identificación único de los equipos que describe a todos los equipos y su ubicación física en la planta, esta codificación es sencilla y estandarizada que permite ubicar el equipo en cualquier parte de la planta. La forma de rotular que se utiliza en el quebrador es la siguiente:



**Figura 7.6.** Formato de rotulación de los equipos.

### 7.1.6. Equipos Críticos.

Es el análisis de aquellos equipos que por su función en la línea de producción son críticos para la operación. Para estos equipos se deben establecer esquemas de mantenimiento especializados y mantener un stock mínimo de repuestos en bodega para garantizar su operación. Para la elección de cual equipo es crítico y cual no, se utiliza la siguiente figura.

<b>Valor de Reposición del Equipo/Calidad del Producto terminado</b>			
El Valor de Reposición del Equipo es superior USD 100k / La falla en el equipo Si afecta la calidad final del Producto	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
El Valor de Reposición del Equipo se encuentra entre USD 50k a 100k / La falla en el equipo NO afecta la calidad final del Producto	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
El Valor de Reposición del Equipo se encuentra entre USD 0k a 50k / La falla en el equipo NO afecta la calidad final del Producto	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
<b>Tiempo Probable de Parada de la línea de producción por una falla en el Equipo</b>	De 0 a 0.5 Días	De 0.5 a 2 días	Mayor a 2 días

**Figura 7.7.** Sistema calificación de criticidad de equipos.

### **7.1.7. Rutinas de mantenimiento preventivo.**

Las rutinas de mantenimiento preventivo deben ser la principal actividad de mantenimiento, son aquellas rutinas de servicio del equipo a intervalos regulares donde podemos encontrar: Inspecciones visuales, lubricación, calibración, alineamiento, limpieza, reemplazo (a intervalos regulares) entre otros.

Las rutinas de mantenimiento preventivo están basadas en revisiones periódicas que se hacen, en primera instancia, a partir de las recomendaciones del fabricante y, posteriormente, las condiciones de operación definirán nuevas actividades a través del historial de la máquina, el análisis de daños y la experiencia del personal.

### **7.1.8. Historial de equipos.**

El objetivo del registro histórico de un equipo es, permitir analizar sobre una base histórica el desempeño y la producción, también el de apoyar las decisiones estratégicas como reemplazos, inversiones o mejoras; y por ultimo almacenar las experiencias y reparaciones relevantes.

Se utiliza una biblioteca técnica y bitácoras, el cual debe tener todos los manuales técnicos de los equipos para la consulta de todo el personal. Se utiliza el software TRICOM para guardar el historial de los trabajos realizados y de las rutinas, así como todo el stock de los repuestos críticos. La bitácora de los principales equipos tienen los siguientes apartados:

- a. Ficha técnica (Descripción detallada de la máquina).
- b. Historia del mantenimiento correctivo (Órdenes de mantenimiento más importantes).
- c. Plan de mantenimiento preventivo.
- d. Plan de Mantenimiento Predictivo.(Resultados de las mediciones)

- e. Lista de repuestos críticos (Repuestos claves que deben estar en bodega)
- f. Estadística de producción y desempeño (Horas efectivas, consumo de combustible, etc...)
- g. Costos del equipo (Consumo de repuestos, índices de costo)
- h. Instrucciones de trabajo del equipo.

#### **7.1.9. Ordenes de trabajo.**

Cuando un trabajo de mantenimiento debe ejecutarse, este debe ser solicitado para lo cual, el personal de producción o el de mantenimiento completan en forma manual la llamada Aviso de trabajo. En esta se dan criterios de urgencia y una descripción de lo solicitado. El aviso de trabajo genera una orden de trabajo, la cual debe indicar:

- a. Labor a ejecutar
- b. Fecha de ejecución, localización y prioridad
- c. Tiempo de ejecución
- d. Personas, servicios y materiales requeridos
- e. Instrucciones de trabajos (si las hay)
- f. Observaciones y equipo de Seguridad requerido

### **7.2. Manual de mantenimiento preventivo para el filtro prensa.**

#### **7.2.1. Introducción.**

Como se dijo en el marco teórico, el mantenimiento preventivo es una programación de actividades de inspección de los equipos, abarcando su funcionamiento, limpieza y calibración en una manera periódica. Aplicando esa

idea se proponen una serie de inspecciones que permitan verificar el estado físico del equipo y estructura, así como su funcionamiento (instrumentación).

Las diversas actividades de los manuales buscan prevenir principalmente el deterioro que se pueda formar en la máquina y en las telas, a razón de que una falla disminuirá la eficiencia del sistema filtro prensado o se perderá tiempo funcional de esta.

Las inspecciones también contemplan llevar un registro periódico de los tiempos en que la bomba de alimentación esta prendida, así como las presiones en que se están trabajando, y también la cantidad de material filtrado durante el día, esto para comprobar la eficiencia del filtro y poder llevar un historial y un control del sistema.

El mantenimiento en los equipos no constituye un gasto para el departamento, sino que representa una inversión real, ya que un correcto mantenimiento en las máquinas, permite un funcionamiento de calidad, así como un entorno seguro para quienes se encuentran laborando alrededor del equipo.

En las siguientes secciones se explican detalladamente los diferentes parámetros considerados para la elaboración de los manuales de mantenimiento preventivo propuestos.

### **7.2.2. Metodología empleada.**

Para realizar los manuales de mantenimiento preventivo es necesario realizar varias actividades que permitan recolectar y organizar la información de una manera adecuada para un correcto desarrollo del plan propuesto. Las actividades por realizar son:

- a. Inspección visual de la maquinaria y realización del registro del equipo.
- b. Análisis de funciones: en primer lugar fue necesario conocer con detalle las funciones del equipo filtro prensa, para así determinar cuáles son sus

puntos claves y si los equipos seleccionados para los manuales son importantes o no.

- c. Conocer el equipo: para ello se debe analizar cada elemento que compone el equipo (sus partes), así como las funciones que desempeña.
- d. Recolectar datos técnicos: utilizando la información del equipo brindada por la empresa que vendió el sistema, tomando los datos necesarios de las placas de los equipos y la información de catálogos.
- e. Codificar equipos: este paso tiene como objetivo establecer, mediante letras, números, símbolos o colores, una identificación de la máquina. La planta ya cuenta con un sistema de codificación, por lo tanto se estará efectuando con la misma base.
- f. Con la información recolectada y analizada, realizar los manuales de mantenimiento preventivo, así como las hojas de inspección por utilizar, lo que permitirá sentar las bases para planes de mantenimiento futuros.

### **7.2.3. Selección partes del equipo para el manual de mantenimiento.**

El sistema de filtro prensado debe estar trabajando la mayor parte del tiempo posible, a veces hasta de forma continua, un fallo en alguna parte del sistema repercute directamente el proceso de producción sobretodo en épocas de verano, por lo tanto cada parte del equipo representa un componente importante y vital para la operación correcta del filtro.

Para realizar el manual de mantenimiento preventivo se han seleccionado las partes más importantes del sistema filtro prensado, las cuales son:

- a. Estructura: es la encargada de sostener firme el equipo la sujeción de este, permite la realización de trabajos de mantenimiento por medio de las pasarelas, se refiere a todo lo externo de la máquina.

- b. Bastidor: es el “esqueleto” de la maquina comprenden los cabezales y las vigas superiores.
- c. Paquete filtrante: el paquete filtrante es el principal responsable de la función primordial de la maquina la cual es filtrar los lodos, por lo que esta sección es crítica para el funcionamiento del sistema. Comprenden las telas filtrantes y las placas filtrantes.
- d. Equipo auxiliar: comprende el sistema de traslado de placas así como la parte de control eléctrico del filtro prensa.
- e. Sistema aire comprimido: aquí podemos tener tuberías, el compresor y los diferentes equipos que componen el sistema.
- f. Bomba de alimentación: la bomba de alimentación es la encargada de llenar el filtro prensa de lodos para su fase de filtrado.

#### **7.2.4. Estudio técnico del equipo.**

El departamento cuenta con algunos de los catálogos de los equipos, sin embargo dichos catálogos están más enfocados al funcionamiento y no a las características técnicas de sus partes, así que para obtener dicha información se tomaron los datos de la placa de cada equipo, además de realizar consultas a los encargados del departamento de mantenimiento y a los propios vendedores del equipo.

#### **7.2.5. Codificación del equipo.**

Actualmente la planta como se mencionó en el marco teórico cuenta con un sistema de codificación de los equipos, el código inicia con 4 letras mayúsculas que se refiere al nombre de la planta, seguido por un código numeral referente al centro de costo de todo lo que se invierte al equipo, seguido de tres letras mayúsculas que significan el abreviado del nombre de la máquina y por último el número de la unidad.

OCHO	3001	PLO	1
OCHO	3001	BLO	1

Donde,

OCHO: nombre de la planta.

3001: centro de costo.

PLO, BLO: abreviatura de la máquina.

Trabajaremos con dos códigos, todo el sistema se dividirá por un lado la prensa de lodos, sus partes y el sistema de aire comprimido; y por otro lado la bomba de lodos con su alimentación, con sus tuberías y la bomba de sello.

#### **7.2.6. Procedimiento de las inspecciones.**

El manual contiene cada una de las inspecciones de las partes de los equipos, tanto mecánica como eléctrica, la frecuencia y duración de las inspecciones fue determinada en conjunto con el jefe del departamento, quien tiene a su cargo cada uno de los técnicos, y que, además, conoce las cualidades y limitaciones de su personal, así como el tiempo recomendado para ejecutar cada labor planteada. También se tomaron en cuenta recomendaciones del fabricante y diferentes consultas realizadas a los distribuidores de los equipos.

Los procedimientos que se describen son agrupados según la función a realizar:

- a. Revisión del estado de la estructura: se revisa visualmente el estado de la estructura, buscando posibles daños en el muro y en las pasarelas.
- b. Revisión de la soportaría: Se revisa visualmente si los soportes del filtro prensa están en su lugar así como las que sostiene las pasarelas y la central hidráulica.

- c. Sistema prensado hidráulico: Se efectúa una inspección visual del equipo en busca de fugas de aceite y cualquier otro deterioro que perjudique su funcionamiento.
- d. Funcionamiento de los manómetros: Se revisa que los mismos trabajen correctamente.
- e. Revisión visual de las telas: buscar averías en las telas del filtro.
- f. Revisión del sistema traslado de placas: se revisan las cadenas estén bien lubricadas y algún defecto de estas.
- g. Revisión del sistema alimentación de lodos: revisar la bomba este trabajando normalmente, ajustar las fajas de las poleas y revisar fugas en tuberías o en bridas.
- h. Revisión del sistema de aire comprimido: supervisar fugas en tuberías, presiones del sistema y funcionalidad del compresor en busca de averías.
- i. Revisión del sistema eléctrico: se revisaran todo lo concerniente al sistema eléctrico del equipo, fallas en motores y evitar algún problema eléctrico.

#### **7.2.7. Frecuencia de las inspecciones.**

La programación de las actividades de mantenimiento preventivo se estiman para ser realizadas a intervalos regulares, por esto se plantean unas rutinas sencillas diarias por debajo de las 250 horas para el mantenimiento y otras más complejas que vayan en tiempos semanales en arriba de las 250 horas.

Por esta razón se proponen un mantenimiento utilizando horímetros en los equipos, que nos indiquen a cada cierto tiempo hacer una u otra revisión. Hay tiempos muy diversos que pueden estar desde las 250 horas hasta las 3000 o 5000 horas de uso.

### 7.2.8. Personal para efectuar el mantenimiento.

La mayor parte de las inspecciones debe de ser realizadas por los técnicos mecánicos y por el personal más familiarizado con la máquina, se estiman que sean uno o dos personas dependiendo de la actividad; adicionalmente existen otras actividades que requieren conocimientos técnicos para ser efectuadas.

La asignación del personal de mantenimiento preventivo o correctivo se asignan un técnicos para efectuar las actividades predictivas programadas, las actividades recomendadas o imprevistas deben de ser estudiadas por el departamento de mantenimiento para establecer los parámetros a seguir y la gravedad de la falla que haya ocurrido.

**Tabla 7.1. Personal Requerido.**

<b>Personal</b>	<b>Abreviación</b>
Operador	OP
Técnico Mecánico	TM
Técnico Electricista	TE
Servicios de terceros	ST

### 7.2.9. Manuales de mantenimiento preventivo realizados.

Los manuales fueron efectuados a razón del periodo que se deben efectuar las respectivas actividades, por tal razón se realizan manual de mantenimiento según como se dijo antes ya sean diarios y otros arriba de los semanales. Dado que la empresa ya posee un formato para este tipo de documento, se utilizara este para hacer los respectivos manuales.

Se implementara un proceso de mejora continua, donde las inspecciones se irán personalizando cada vez más en función del conocimiento más profundo y de problemas específicos que se podrían dar en el equipo, se utilizara un diagrama de flujo como el propuesto en la figura 7.4. Los documentos propuestos se encuentran en los apéndices.

## **8. Capítulo 9. Recomendaciones y conclusiones.**

---

## **8.1. Conclusiones.**

- a. Se cumplieron los estándares de calidad en la obra civil y estructural del filtro prensa, mediante las normas de construcción y estándares de seguridad proporcionados por el diseño de la obra.
- b. Se logró la compra del equipo necesario para poner en marcha el filtro prensa, escogiendo las mejores ofertas mediante cotizaciones de tuberías y materiales para la construcción.
- c. La implementación del diseño de aire comprimido genera una mayor eficiencia del filtro prensa, ya que optimiza el proceso y brinda una mayor vida útil, obteniendo una mayor confiabilidad en el filtrado de lodos.
- d. La presión de operación de la maquina instalada resulto optima, confirmando el diseño propuesto y respetando las especificaciones técnicas de la máquina.
- e. La creación de un programa de mantenimiento preventivo proporciona a la maquina instalada un mayor tiempo de funcionamiento, evitando problemas inoportunos y que al final cumpla su funcionalidad adecuadamente.
- f. El almacenamiento de agua que posee la empresa juega un papel importante en la producción de la planta, sobretodo en la época donde el agua del rio es escaza, por lo tanto la optimización de esta agua con el filtro prensa genera una reducción significativa en pérdidas de producción.

## **8.2.Recomendaciones.**

- a. Es necesario adquirir el equipo necesario que permita ejecutar las labores de mantenimiento de una manera más efectiva.
- b. Es de suma importancia la contratación de más personal por parte del quebrador, para el departamento de mantenimiento, ya que por zona debe haber al menos un técnico eléctrico y otro mecánico.
- c. Es indispensable contar con un programa de seguridad laboral, para el departamento, además de capacitar personal que se encargue de estas labores, para evitar accidentes y mejorar las condiciones de trabajo de cada uno de los empleados.
- d. Se debe capacitar al personal técnico sobre el uso adecuado de cada uno de los equipos presentes en el sitio del filtro prensa.
- e. Es importante la construcción de un techo o estructura que proteja el equipo filtrante, ya que de no ser así generaría problemas con daños en las telas por las inclemencias de un clima tan inestable como el de Cartago.

## 9. Bibliografía.

---

Mott, Robert L. 1996. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4 ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Valverde, Jorge. 2006. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Cartago, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Azofeifa, F. (2007, 13 de Junio). Evaluación y rediseño de la Red de Aire Comprimido de la Planta de Producción de Kimberly Clark en Belén. Heredia: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Capris (s. f.). Compresor de aire horizontal 8,2 CFM Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [https://www.capris.cr/index.php?route=capris/product&keyword=compresor&product\\_id=401632&cc=401632](https://www.capris.cr/index.php?route=capris/product&keyword=compresor&product_id=401632&cc=401632)

Draco (s. f.). Filtro Prensa. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/190001/FP-Draco-Toro-Equipment-Especificaciones-Te--769-cnicas-WEB.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/190001/FP-Draco-Toro-Equipment-Especificaciones-Te--769-cnicas-WEB.pdf)

ERAL S.A. (s. f.). Filtros Prensa Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [http://eralchile.com/pdf/catalogos/filtros\\_prensa.pdf](http://eralchile.com/pdf/catalogos/filtros_prensa.pdf)

FSI Filtración (s. f.). Equipo: filtro prensa. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.fsi-filtracion.com/pdf/FSIFILTRACION-Filtro%20Prensa.pdf>

Filtros prensa. (S. f.). Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://filtroprensa.com.mx/index.php/que-es-un-filtro-prensa>

Gómez, I. (2007). Cálculo de estanques para el almacenamiento de agua, análisis comparativo de las normas API 650 y AWWA D-100. Curicó: Universidad de Talca.

Hidrometálica (s. f.). Filtro prensa. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [http://hidrometalica.com/wp-content/uploads/FILTRO\\_PRENSApdf.pdf](http://hidrometalica.com/wp-content/uploads/FILTRO_PRENSApdf.pdf)

Jiménez, G. (2006). Re-diseño de tuberías, mantenimiento de válvulas de control neumático y reubicación de equipo para Planta de Helados Planta Coyol, Alajuela. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Lenntech (s. f.). Filtro de prensa para el tratamiento de lodos. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>

Los compresores de pistón y sus ventajas. (2012). Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.quiminet.com/articulos/los-compresores-de-piston-y-sus-ventajas-2681333.htm>

Montes, C. & Betancour, M. (2012, 03 de Septiembre). Consumo de agua en la minería de cobre. Santiago: Comisión Chilena de cobre.

Mora, O. (2006, 14 de Junio). Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de distribución de aire comprimido de la planta. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Muyuan Pump Industry (s. f.). Bomba de lodos estándar Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.cn muyuan.com/pic/bomba%20de%20lodos%20est%C3%A1ndar%20MAYU.pdf>

NORGREN (s. f.). Tubo Flexible para Aire Comprimido. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [http://resources.norgren.com/document\\_resources/ES/NOBELAIR.pdf](http://resources.norgren.com/document_resources/ES/NOBELAIR.pdf)

Parker (s. f.). Sistema de redes de aire comprimido. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/spain/lang/es/home/TechnicalCenter/CompressedAirPipeSystem>

República de Costa Rica (1999, 30 de Septiembre). Ley de aguas. Recuperado el 04 de Junio del 2015, de [http://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Costa\\_Rica-Ley\\_276.pdf](http://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Costa_Rica-Ley_276.pdf)

Rojas, O. (2014, 26 de Noviembre). Diseño de un sistema de enfriamiento para el fluido de perforación de los equipos de perforación profunda del Instituto costarricense de Electricidad. Cartago.: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

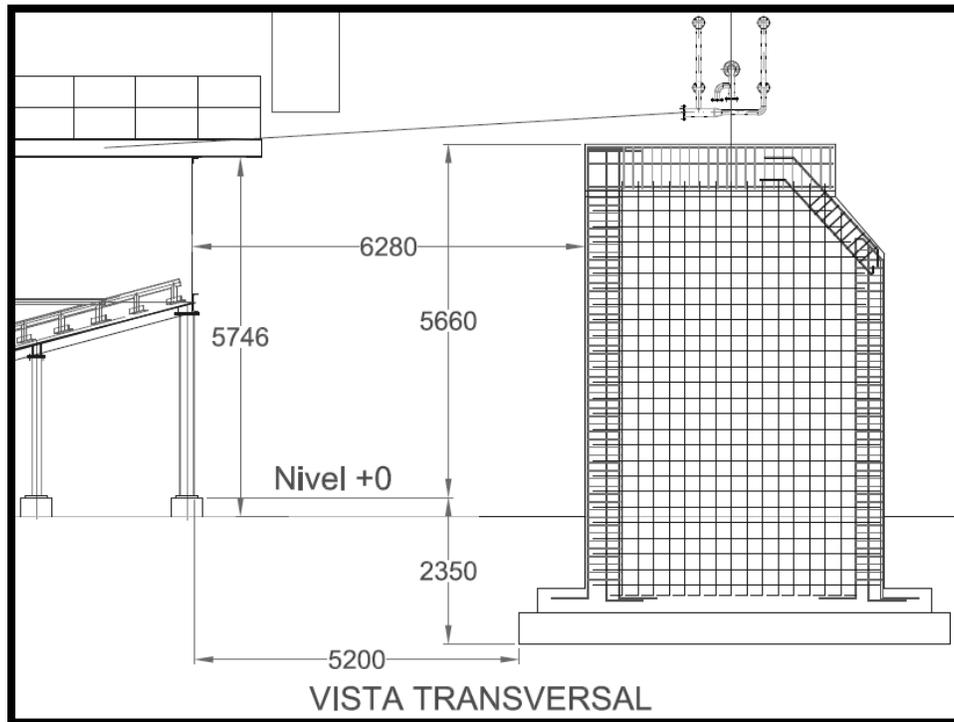
Solano, J. (2008, 11 de Junio). Metodología de la instalación de las unidades de bombeo principal de RECOPE, en la estación de Limón. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Tipos de compresores y sus características. (s. f.). Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://quantum.cucei.udg.mx/~gramirez/menus/introduccion/compresores.html>

Tubos flexibles para aire comprimido y vacío, con racores. (s. f.). Recuperado el 04 de Junio del 2015, de <http://www.vuototecnica.es/product/185/es/6.05.pdf>

## 10. Anexos.

### Anexo 1. Colocación del Nivel 0 de referencia de la obra gris



### Anexo 2. Primera cotización y compra de acero para la construcción de la obra.



**La Murta, S.A.**

Nº cliente: 2004799  
 Telefono1: 2537-1000  
 Telefono2:  
 Fax: 2537-2628

**Oferta**

Número: 200045911  
 Fecha: 01/09/2015  
 Moneda: CRC  
 Contacto: Ana Azofeifa  
 Vendedor: Daniel Garro

Tel: 2436-4040 Fax: 2443-5001  
 Email: [saretacero@gruposaret.com](mailto:saretacero@gruposaret.com)

Atendiendo su amable solicitud, nos permitimos cotizarle lo siguiente:

Pos	Artículo	Cant.	Descripción	Peso Kg	Desc.	Precio Ud	Total
010	1015499	200.0	VARILLA CORRUGADA #3 3/8" X 6M A706 GR60	672		1,560.00	312,000.00
020	1015488	330.0	VARILLA CORRUGADA #4 1/2" X 6M A706 GR60	1,968.120		2,840.00	937,200.00
030	1004008	90.0	VARILLA CORRUGADA #6 3/4" X 6M A706 GR60	1,206.900		6,530.00	587,700.00
<b>Peso Total Kg =</b>				<b>3,847.020</b>			

Condición de Pago: **Contado 0 días**

Subtotal ₡ **1,836,900.00**  
 Descuento ₡ **0.00**  
 Impuesto ₡ **0.00**  
 Total ₡ **1,836,900.00**

La entrega será según existencia al momento de efectuar la venta  
 Precio sujeto a variación sin previo aviso  
 Pesos teóricos según norma ASTM  
 Validez de la oferta 1 día

**Anexo 3.** Segunda cotización y compra de acero para la construcción de la obra.

 <p><b>La Murta, S.A.</b></p> <p>Nº cliente: 2004799          Telefono1: 2537-1000          Telefono2:          Fax: 2537-2628</p>		<p><b>Oferta</b></p> <p>Número: 200046424          Fecha: 01/23/2015          Moneda: CRC          Contacto: Ana Azofeifa          Vendedor: Daniel Garro</p> <p>Tel: 2436-4040 Fax: 2443-5001          Email: <a href="mailto:saretacero@gruposaret.com">saretacero@gruposaret.com</a></p>					
<p>Atendiendo su amable solicitud, nos permitimos cotizarle lo siguiente:</p>							
Pos	Artículo	Cant.	Descripción	Peso Kg	Desc.	Precio Ud	Total
010	1015488	182.0	VARILLA CORRUGADA #4 1/2" X 6M A706 GR60	1,085.448		2,840.00	516,880.00
020	1015499	70.0	VARILLA CORRUGADA #3 3/8" X 6M A706 GR60	235.200		1,560.00	109,200.00
Peso Total Kg =				1,320.648			
<b>Condición de Pago: Contado 0 días</b>						<b>Subtotal €</b>	<b>626,080.00</b>
						<b>Descuento €</b>	<b>0.00</b>
						<b>Impuesto €</b>	<b>0.00</b>
						<b>Total €</b>	<b>626,080.00</b>
<p>La entrega será según existencia al momento de efectuar la venta          Precio sujeto a variación sin previo aviso          Pesos teóricos según norma ASTM          Validez de la oferta 1 día</p>							

**Anexo 4.** Cotización y compra de artículos varios para la construcción.

<p>INVERSIONES MERCASA AMERICANA S.A.          Cédula #3-102-315590          Agua Caliente, Cartago          Tel.: 2552-4137 2552-4137</p>		<p><b>La Murta S.A.</b></p> <p>3-101-017900          1.5 Km al norte del Colegio Seráfico, carretera a Llano Gde          Teléfono: 2537-1000, Email: <a href="mailto:contactenos@8mogo.com">contactenos@8mogo.com</a></p>		
Orden N°.		Fecha		
628		15/01/2015		
N° Referencia Cotizacion #137294				
Producto	Cantidad	U/M	Precio	Total
Crayon Lyra rojo s/Forro	12		201,93	2.423,16
Alambre Negro 1.50mm KGS	100		643,12	64.312,00
Pegamix 40kg (Impermix instantaneo) Impersa	3		2.481,77	7.445,31
Clavo corriente con cabeza 2" KGS	3		675,77	2.027,31
Clavo corriente con cabeza 2 1/2" KGS	3		675,77	2.027,31
Semiduro 1 x 3 . Varas	120		302,84	36.340,80
Semiduro 2 x 3 x 4 . VRS	12		2.710,66	32.527,92
Clavo Acero bar estriado 2" Cajas	3		2.616,83	7.850,49
Formaleta 1 x 12 en vrs	48		1.189,00	57.072,00
Semiduro 1 x 2	48		202,20	9.705,60
Cuerda Albahil Blanca	2		508,87	1.017,74
			<b>Subtotal</b>	CRC 222.749,64
			<b>Impuesto de ventas</b>	CRC 28.642,44
			<b>Total</b>	CRC 251.392,08
<b>Condiciones de Entrega:</b>				

**Anexo 5. Cotización y compra de concreto toba para la obra gris.**



martes, 23 de diciembre de 2014

Señores : **LA MURTA S.A.** Teléfono: 8993-69-33  
**3-101-017900**

Atención: **SR. JORGE VÁSQUEZ AGUILAR** Correo: [jorge.vasquez@8mogo.com](mailto:jorge.vasquez@8mogo.com)

Estimados señores:  
 En respuesta a su solicitud presentamos oferta económica para su proyecto:  
 Ubicado en: **INSTALACIONES DEL QUEBRADOR OCHOMOGO**  
**\*\*\*\*DESPACHO SUJETO A INSPECCIÓN PREVIA\*\*\*\***

Tobacemento Sin Agregado					
Cantidad (m <sup>3</sup> )	Tipo de descarga	Material	Precio (¢/m <sup>3</sup> )	I. Ventas (¢/m <sup>3</sup> )	Precio Total
40	Directo	Toba 75 kg/cm <sup>2</sup> (Sin Agregados)	¢39.000,00	¢5.070,00	¢1.762.800,00
<b>TOTAL DE LA OFERTA</b>					<b>¢1.762.800,00</b>

CUENTAS BANCARIAS		HOLCIM (COSTA RICA) S.A 3-101-006846	
BANCO		COLONES	DOLARES
CITIBANK (CUENTA EMPRESARIAL)		0 300080014	0 300080022
CITIBANK (CUENTA CLIENTE)		11729603000 148	11729603000 220

**Anexo 6. Cotización y compra de vigas WF para la estructura metálica.**



**ACEROS CARAZO - REIMERS S.A.**  
 Cédula 3-101-008553 | La Uruca frente a COSEVI  
 Tel: 2222-1227 | 4000-1227 4000-2600 | Fax: 2256-0621  
 Apdo: 6796-1000 San José  
[www.aceroscarazo.com](http://www.aceroscarazo.com) | [www.reimers.com](http://www.reimers.com)

**FACTURA PROFORMA**

Documento# CREDITO 30 dias **No. 144107**  
 Fecha : 05/02/2015 Hora : 10:45 Moneda : Colon  
 Cliente : 3638 Vendedor: **MARLEN MORALES**  
 LA MURTA, S.A.

Atencion: ANDREY RIZO / 8683-8932 Orden Compra :

Sírvase encontrar la cotización solicitada por su estimable persona:

Cantidad	Codigo	Medida	Descripcion	Precio C. Desccto	SubTotal	Peso
4	156530	UND	VIGAS WF 6" x 16 Lbs / Pie x 40pies ASTM 572 G50 **MEDIDAS VIGA OPCIONAL: Altura: 160mm Ancho: 102mm Alma: 6,6mm Ala: 10,3mm	156,500.00 ¢	626,000.00	1161.16
1	800080	UND	SERVICIOS SERVICIO DE FLETE	40,000.00 ¢	40,000.00	.00
<b>Peso Total:</b>					<b>SubTotal: ¢ 666,000.00</b>	
					<b>Impuesto de Ventas: 81,380.00</b>	
					<b>Transporte: 0.00</b>	
					<b>TOTAL: ¢ 747,380.00</b>	

**Anexo 7. Cotización y compra de vigas UPN para la estructura de pasarelas.**

		<b>INVERSIONES MERCASA AMERICANA</b> Cedula 3-102-315590 150m este Delegación Civil, Agua Caliente, Tel:2552-4137 Fax:2551-4365 e-mail:ventas@grupomercasa.com	<b>COTIZACION</b> <b>No.00139940</b>	Página: 1 Fecha: 11/03/2015 Hora: 12:13:52																																																						
<b>Cliente:</b> 000221-LA MURTA, S.A. <b>Dirección:</b> 2km norte del Colegio Serafico <b>Contacto:</b> ANDREY	<b>Email:</b> Telefonos:(506)2537-1000 (506)2537-2628 Fax:(506)																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Cantidad</th> <th>Und</th> <th>Cód-Artículo</th> <th>Descripción</th> <th>Bod</th> <th>Precio Unitario</th> <th>Total</th> <th>Ive</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>5.000</td> <td>UND</td> <td>728-00000038</td> <td>VIGA C UPN #100 (4").</td> <td>05</td> <td>38,872.02</td> <td>194,360.10</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6.000</td> <td>UND</td> <td>728-00000036</td> <td>VIGA C UPN #80 (3").</td> <td>05</td> <td>32,012.04</td> <td>192,072.24</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6.000</td> <td>LAM</td> <td>728-00000099</td> <td>ACS 4X8 X 5 MM (#1).</td> <td>13</td> <td>59,088.27</td> <td>354,529.62</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>7.000</td> <td>UND</td> <td>728-00000046</td> <td>TUBO HN IND REDONDO 5/8" EN 1.20 MM.</td> <td>13</td> <td>1,966.12</td> <td>13,762.84</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>11.000</td> <td>UND</td> <td>728-00000054</td> <td>TUBO HN REDONDO 1" PARED 2.55 MM.</td> <td>13</td> <td>6,760.63</td> <td>74,366.93</td> <td>13.0</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Cantidad	Und	Cód-Artículo	Descripción	Bod	Precio Unitario	Total	Ive	1	5.000	UND	728-00000038	VIGA C UPN #100 (4").	05	38,872.02	194,360.10	13.0	2	6.000	UND	728-00000036	VIGA C UPN #80 (3").	05	32,012.04	192,072.24	13.0	3	6.000	LAM	728-00000099	ACS 4X8 X 5 MM (#1).	13	59,088.27	354,529.62	13.0	4	7.000	UND	728-00000046	TUBO HN IND REDONDO 5/8" EN 1.20 MM.	13	1,966.12	13,762.84	13.0	5	11.000	UND	728-00000054	TUBO HN REDONDO 1" PARED 2.55 MM.	13	6,760.63	74,366.93	13.0				
Item	Cantidad	Und	Cód-Artículo	Descripción	Bod	Precio Unitario	Total	Ive																																																		
1	5.000	UND	728-00000038	VIGA C UPN #100 (4").	05	38,872.02	194,360.10	13.0																																																		
2	6.000	UND	728-00000036	VIGA C UPN #80 (3").	05	32,012.04	192,072.24	13.0																																																		
3	6.000	LAM	728-00000099	ACS 4X8 X 5 MM (#1).	13	59,088.27	354,529.62	13.0																																																		
4	7.000	UND	728-00000046	TUBO HN IND REDONDO 5/8" EN 1.20 MM.	13	1,966.12	13,762.84	13.0																																																		
5	11.000	UND	728-00000054	TUBO HN REDONDO 1" PARED 2.55 MM.	13	6,760.63	74,366.93	13.0																																																		
<b>Condiciones de pago...</b> Vigencia de la Oferta: 1 Días Forma de Pago: Credito 30 Días Tiempo de Entrega: 1 Días Lugar de entrega: INSTALACIONES	PESO TOTAL 1,065KG + Falta peso	<b>SubTotal:</b> 829,091.73 <b>Descuento:</b> <b>SubTotal:</b> <b>Imp.Vtas:</b> 107,781.91 <b>Total:</b> 936,874.00																																																								

**Anexo 8. Tabla del Código eléctrico NEC para elección de calibre de cable conductor.**

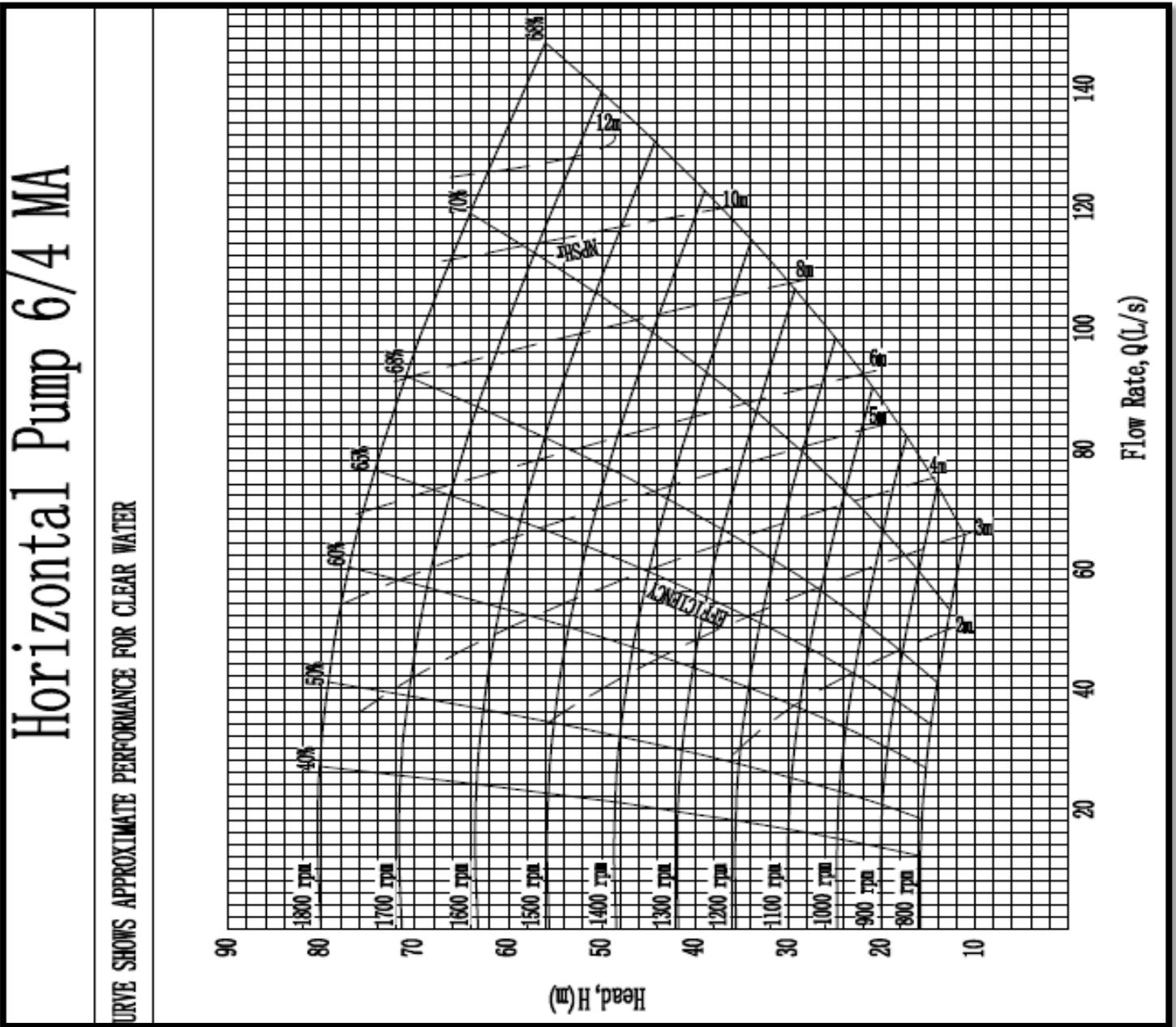
**TABLA 310-16.- Capacidades de corriente (A) permisibles de conductores aislados de 0 a 2000 Volt y 60 °C a 90 °C no más que tres conductores activos en una canalización, cables o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30° C.**

CALIBRE	TEMPERATURA NOMINAL DEL CONDUCTOR (VER TABLA 310-13)						SECCION  AWG/ Kcmil
	60° C	75° C	90° C	60° C	75° C	90° C	
TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW- 2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2		
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO REC DE COBRE			
18	....	....	14	....	....	....	....
16	....	....	18	....	....	....	....
14	20*	20*	25*	....	....	....	....
12	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
10	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0

**Anexo 9. Cotización de tuberías hierro negro para el sistema alimentación filtro.**

ACEROS CARAZO S.A.3-101-008553		La Murta S.A.		
		3-101-017900		
		1.5 Km al norte del Colegio Seráfico, carretera a Llano Gde		
		Teléfono: 2537-1000, Email: contactenos@8mogo.com		
Orden N°.		Fecha		
753		11/03/2015		
N° Referencia		Proforma #148721		
Producto	Cantidad	U/M	Precio	Total
Tubo Red. A53 101.6 x 6.02mm 6m (4")	4		62.165,00	248.660,00
Tubo Red.A53 76.2 x 5.49mm x 6m (3")	4		35.910,00	143.640,00
Codo Sold. 90 152.4mm CED40 A234 WPB	1		9.310,00	9.310,00
<b>Subtotal</b>				CRC 401.610,00
<b>Impuesto de ventas</b>				CRC 52.209,30
<b>Total</b>				CRC 453.819,30
<b>Condiciones de Entrega:</b>				

Anexo 10. Curvas de bomba para la familia MA marca MUYUAN.



Anexo 11. Cotización de bridas, codos y empaques metálicos.

		<b>Central de Válvulas S.A.</b> Cédula Jurídica 3-101-631805 Barrio San José Curridabat, De café Volio 150 mts Oeste, Contiguo a Plástipol Tel: (506) 2272-4963 2272-4962 Fax: (506) 2272-4957 2272-4963 Email: info@centraldevalvulas.com www.centraldevalvulas.com SAN JOSE, COSTA RICA		<b>Proforma No. 39145</b>					
		Código: 393 Hora: 1:05:46 p.m. Agente: 904 Digitador: 1030		<table border="1"> <tr> <th>Día</th> <th>Mes</th> <th>Año</th> </tr> <tr> <td>11</td> <td>03</td> <td>2015</td> </tr> </table>		Día	Mes	Año	11
Día	Mes	Año							
11	03	2015							
<b>Cliente:</b> QUEBRADOR OCHOMOGO LTDA		<b>Teléfono:</b> 2537-1000							
<b>Dirección:</b> 2km NORTE DEL COLEGIO SERAFICO SAN FRANCISCO EL CARMEN CARTAGO, CAJ		<b>Email:</b>							
<b>Atención:</b> HENRY UREÑA									
L	Código	Cant.	UM	Descripción	P. Unitario	Total			
1	080500000075	7	c/u	FLANGER SICUELLO ACERO A105 C-150 SOLDABLE 3" C/4 HUECOS	5,653.70	39,575.91			
2	261800000075	7	c/u	EMPAQUE METALICO MAXIFLEX KLINGER C-150 3"	3,455.16	24,186.10			
3	166	5	c/u	FLANGER SICUELLO ACERO A105 C-150 SOLDABLE 4" C/8 HUECOS	14,572.50	72,862.50			
4	261800000100	5	c/u	EMPAQUE METALICO MAXIFLEX KLINGER C-150 4" *****Ultima linea*****	2,787.97	13,939.85			
Los precios pueden cambiar sin previo aviso, y las cantidades están sujetas a previa venta. Indicar el N° Proforma en la Orden de Compra. Compras menores a 10.000 colones, serán en efectivo.					<b>SubTotal:</b>	₡ 150,564.36			
<b>OBSERVACIONES</b>					<b>Descuento:</b>	₡ 0.00			
					<b>Subtotal:</b>	₡ 150,564.36			
					<b>I.V.:</b>	₡ 19,573.37			
					<b>TOTAL:</b>	₡ 170,137.72			

## Anexo 12. Expansión del aire a diferentes presiones.

Pressure (psia)	Volume Expansion Ratio	
	SCFM to ACFM	ACFM to SCFM
14.70	1.151	0.869
14.50	1.168	0.856
14.25	1.190	0.840
14.00	1.213	0.824
13.75	1.237	0.809
13.50	1.261	0.793
13.25	1.287	0.777
13.00	1.314	0.761
12.75	1.341	0.745
12.50	1.371	0.730
12.25	1.401	0.714
12.00	1.433	0.698
11.75	1.466	0.682
11.50	1.500	0.666
11.25	1.537	0.651
11.00	1.575	0.635
10.75	1.615	0.619
10.50	1.658	0.603
10.25	1.702	0.588
10.00	1.749	0.572
9.75	1.799	0.556
9.50	1.851	0.540
9.25	1.907	0.524
9.00	1.966	0.509
8.75	2.029	0.493
8.50	2.097	0.477
8.25	2.168	0.461

## Anexo 13. Diámetros nominales de tuberías para aire comprimido.

TUBO TPR							
Art.	d Ø int.	D Ø ext.	Radio de curvatura	Peso g/m	Presentación m	Material	Color estándar
TPR 3/8"	12.7	17.8	64	150	30	pvc	gris
TPR 1/2"	16.2	21.1	81	170	30	pvc	gris
TPR 3/4"	21.3	26.4	107	230	30	pvc	gris
TPR 1"	27.0	33.1	135	370	30	pvc	gris
TPR 1" 1/4	35.7	41.8	179	500	30	pvc	gris
TPR 1" 1/2	40.6	47.8	203	630	30	pvc	gris
TPR 2"	51.9	59.8	260	900	30	pvc	gris

Temperatura de trabajo: -10° / +60 °C

Factores de conversión:  $\text{inch} = \frac{\text{mm}}{25.4}$ ;  $\text{pounds} = \frac{\text{g}}{453.6} = \frac{\text{Kg}}{0.4536}$

## Anexo 14. Compresor de pistón para el aire comprimido del filtro prensa.



Imagen con fines ilustrativos

ABAC A29 COMPRESOR DE AIRE HORIZONTAL 8.2 CFM  
2HP TANQUE 100 L 110 V/60 HZ/1F 4116024120

Código Capris: 401632

Precio normal: ~~€566,356.00 i.v.i.~~

**Precio web : €566,356.00 i.v.i.**

Modelo: A29

Marca: ABAC

Inventario: **DISPONIBLE**



### Descripción

Compresor de aire de 1 etapa con transmisión por faja, B2800/100CM ABAC

- Cabezal de aluminio, con aletas grandes para un buen enfriamiento
- Cuerpo de hierro colado, dinámicamente balanceado y con aletas grandes para un buen enfriamiento
- Sumidero de aceite más grande para una lubricación más eficiente
- Válvula de acero inoxidable para mejor rendimiento
- Volante de múltiples hojas, dinámicamente balanceados, para un mejor enfriamiento.
- Superior flujo de aire mediante hojas especiales de ventilador
- Motor eléctrico monofásico con protección térmica y dispositivo automático de reposición
- Necesita poco mantenimiento y consumen poco aceite
- Móvil, con manigueta y ruedas

### Características

- Potencia del motor: 2 Hp
- Producción de aire: 8.2 CFM - 232.19 l/min
- Alimentación: 110 V / 60Hz / 1F (220 V / 60 Hz / 1F)\*
- Capacidad del tanque: 100 L

?\* El equipo es capaz de trabajar a 220V, en caso de necesitarlo comunicarlo al centro del de servicio para realizar ajustes necesarios en el cableado. (No conectar a 220V sin antes haber realizado el cambio)

**Anexo 15.** Bomba de lodos seleccionada.

	<b>HEBEI MUYUAN PUMP INDUSTRY CO., LTD.</b>		
	Building 32, Zhuoda Garden, No. 389 Zhaiying Street, Yuhua District, Shijiazhuang, Hebei, P.R. China 050031.		
	Tel: +86-311-87773310; Fax: +86-311-87706011; E-mail: ventas@cnmuyuan.com		
	Website: <a href="http://www.muyuan-pump.com">http://www.muyuan-pump.com</a>		
<b>Quotation</b>			
Attn: Andrey		Date: 03/06/2015	
<span style="font-size: 2em; opacity: 0.5;">Página 1</span>			
<b>Pump</b> 6/4D-MA	<b>Bearing</b> TIMKEN	<b>Seal</b> Gland Seal	<b>Unit Price</b> USD 3.418
Note:			
1. The price is for bare shaft pump.			
2. Cover plate and frame plate in MD21, bearing housing and pump base in MG01. Impeller and liners in M05, packing in MQ21.			
3. Validity: one month.			

## 11. Apéndices.

### Apéndice 1. Tareas programadas del proyecto.

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesora
			<b>Puesta en Marcha del Filtro Prensa en el quebrador.</b>	<b>144 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>mié 08/04/15</b>	
			<b>Planos</b>	<b>7 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>mar 14/10/14</b>	
			Definir ubicación de la prensa	1 día	lun 06/10/14	lun 06/10/14	
			Revisar Planos de sistema filtrado	3 días	mar 07/10/14	jue 09/10/14	3
			Revisar planos con dimensiones de prensa y cargas	3 días	vie 10/10/14	mar 14/10/14	4
			<b>Establecer detalles de equipos perifericos</b>	<b>4,38 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>vie 10/10/14</b>	
			Compresor recomendado (Tamaño, ACFM, ubicación)	1 día	lun 06/10/14	lun 06/10/14	
			Bomba lodos (Ubicación)	4 horas	mar 07/10/14	mar 07/10/14	7
			<b>Bomba de sello Ubicación</b>	<b>3 horas</b>	<b>mar 07/10/14</b>	<b>mar 07/10/14</b>	<b>7</b>
			Logica secuencial de la prensa (Solicitar a ERAL)	3 días	mar 07/10/14	vie 10/10/14	9
			<b>Obra Civil</b>	<b>82 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>mié 21/01/15</b>	
			<b>Movimientos de tierra</b>	<b>31,5 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>jue 13/11/14</b>	
			Revisión con Ing. Enrique Guerra (Constructora)	3 días	lun 06/10/14	mié 08/10/14	
			Estudios del suelo	15 días	jue 09/10/14	mar 28/10/14	13
			Remoción de capa vegetal y superficial	2 días	mar 28/10/14	jue 30/10/14	14
			Revisión Ing. Gaston, tema del suelo y proyecto	12 horas	mar 28/10/14	mié 29/10/14	14
			Preparación de suelo para la sustitución de lastre	7 días	mié 29/10/14	jue 06/11/14	16
			Colocación y compactación de lastre	5 días	vie 07/11/14	jue 13/11/14	17
			Definir tiempo de trabajo y arranque	1 día	mar 28/10/14	mié 29/10/14	14
			Diseño estructural	15 días	mar 28/10/14	vie 14/11/14	14
			Contratar diseño	12 días	vie 14/11/14	sáb 29/11/14	20
			Aprobar Diseño	2 días	lun 01/12/14	mar 02/12/14	21
			Cotizar construccion	8 días	mié 03/12/14	vie 12/12/14	22
			Compra de materiales	4 días	vie 12/12/14	mié 17/12/14	23
			Inicio de obra gris	1 día	vie 12/12/14	sáb 13/12/14	20.23
			Armadura de acero y primer visita inspección Ingeniero estructural	4 días	sáb 13/12/14	jue 18/12/14	25
			Primer colada de concreto en placa corrida	1 día	jue 18/12/14	vie 19/12/14	26
			Armadura de acero y Segunda visita inspección ingeniero estructural	5 días	vie 19/12/14	lun 29/12/14	27
			Segunda colada concreto	1 día	lun 29/12/14	vie 02/01/15	28
			Armadur de acero y tercera visita inspección ingeniero estructural	6 días	vie 02/01/15	vie 09/01/15	29
			Armadur de acero y tercera colada concreto	1 día	vie 09/01/15	lun 12/01/15	30
			Cuarta visita inspección ingeniero estructural	5 días	lun 12/01/15	sáb 17/01/15	31
			Ultima colada concreto	1 día	sáb 17/01/15	lun 19/01/15	32
			Fin de obra gris	2 días	lun 19/01/15	mié 21/01/15	33
			<b>Obra mecanica</b>	<b>143,88 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>mié 08/04/15</b>	
			Recepcion del filtro prensa	7 días	sáb 13/12/14	mar 23/12/14	25
			Cotizacion de vigas	3 días	mié 21/01/15	sáb 24/01/15	36.34
			Compra de vigas	3 días	lun 26/01/15	mié 28/01/15	36.37
			montaje de vigas	3 días	jue 29/01/15	lun 02/02/15	34.38
			montaje de filtro prensa	1 día	lun 02/02/15	mar 03/02/15	36.39
			<b>Aire comprimido</b>	<b>117 días</b>	<b>vie 07/11/14</b>	<b>mié 08/04/15</b>	
			Diseño del sistema de aire comprimido	4 días	vie 07/11/14	mié 12/11/14	6
			Cotizacion del compresor chimbo y tuberias	2 días	mié 12/11/14	vie 14/11/14	42

Hoja de tareas	44		Compra del compresor chimbo y tuberías	3 días	vie 14/11/14	mié 19/11/14	43
	45		Montaje del compresor, tuberías y demás	2 días	mar 03/02/15	jue 05/02/15	40.44
	46		<b>Fabricación de pasarelas</b>	<b>94 días</b>	<b>lun 06/10/14</b>	<b>jue 05/02/15</b>	
	47		Planos de pisos y pasarelas	3 días	mar 14/10/14	vie 17/10/14	5
	48		Calculo de materiales	1 día	vie 17/10/14	sáb 18/10/14	47.5
	49		Compra de materiales	3 días	sáb 18/10/14	mié 22/10/14	48
	50		Inicio y finalización de fabricación pasarelas	15 días	lun 06/10/14	jue 23/10/14	
	51		Trasporte e instalacion de las pasarelas	2 días	mar 03/02/15	jue 05/02/15	40.50
	52		<b>Alimentación de lodos al filtro</b>	<b>13 días</b>	<b>mar 03/02/15</b>	<b>jue 19/02/15</b>	
	53		Diseño sistema alimentacion lodos	3 días	mar 03/02/15	vie 06/02/15	5.6.40
	54		Cotizacion de tuberías y bomba	3 días	vie 06/02/15	mar 10/02/15	53
	55		Compra de tuberías y bomba	4 días	mar 10/02/15	lun 16/02/15	54
	56		Conexión de bomba al tanque	1 día	lun 16/02/15	mar 17/02/15	55
	57		Conexión de tuberías	2 días	mar 17/02/15	jue 19/02/15	56
	58		<b>Obra eléctrica</b>	<b>99,63 días</b>	<b>vie 10/10/14</b>	<b>mié 18/02/15</b>	
	59		Contratacion empresa encargada instalación eléctrica	2 días	vie 10/10/14	lun 13/10/14	6
	60		Compra de materiales y paneles	4 días	mar 03/02/15	sáb 07/02/15	40
	61		Tiraje del cableado eléctrico y de control de la prensa	2 días	sáb 07/02/15	mar 10/02/15	60
	62		Instalacion de paneles de bomba y del filtro	2 días	mar 10/02/15	jue 12/02/15	61
	63		<b>PLC</b>	<b>12 días</b>	<b>mar 03/02/15</b>	<b>mié 18/02/15</b>	
	64		Compra del PLC	2 días	mar 03/02/15	jue 05/02/15	40
	65		Montaje	1 día	jue 12/02/15	vie 13/02/15	62
	66		Instalacion y programacion de la empresa encargada	3 días	vie 13/02/15	mié 18/02/15	65
	67		Pruebas de arranque	2 días	jue 19/02/15	sáb 21/02/15	57

## Apéndice 2. Rutina diaria y semanal para inspecciones del esquiop filtro prensa.

		<b>Lista de chequeo del Filtro prensa</b>			Documento: Página: 1 DE 1 Semana: 30 (23 al 29 de Julio 2012) Operador: Marcos
<b>CODIGO</b>		<b>Descripción</b>			<b>Area</b>
OCHO-3001-PL0-1		Filtro prensa lodos			TRITU
<b>No</b>	<b>Rutinas de Inspección</b>				
	<b>Diario ( Cada 10 horas)</b>	<b>Dur (min)</b>	<b>Estado</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>
1	Realizar una inspección visual del estado de la prensa para determinar la existencia de fisuras, golpes y algun tornillo flojo.	5	<b>Parado</b>		
2	Revisar el estado dela central hidraulixa, verificando que no hayan fugas de aceite.	5	<b>Parado</b>		
3	Revisar las telas filtrantes antes de arrancar para serciorarnos de que ninguna este dañada y cause un mal funcionamiento de la prensa.	10	<b>Parado</b>		
4	Revisar presiones en los termostatos y manómetros para verificar el funcionamiento optimo de la prensa.	5	<b>Parado</b>		
		25			
	<b>Semanal ( menos de 50 horas)</b>	<b>Dur (min)</b>	<b>Estado</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>
5	Revisar alineación de las cadenas y tensión de correas para asegurar la correcta transmisión de potencia, alargar la vida de las correas y los rodamientos	5	<b>Parado</b>		
6	Revisión de anclajes del filtro y del motor para evitar movimientos y esfuerzos indeseables sobre la estructura	5	<b>Marcha</b>		
7	Engrasar rodamientos para mantener lubricación requerida en los rodamientos. Una buena lubricación requiere que la grasa sea expulsada por los sellos de laberinto para que se mantenga el sello de polvo y la limpieza dentro de los rodamientos	60	<b>Parado</b>		
8	Revisar la estructura de la Máquina, buscar fisuras en esquinas y soldaduras para asegurar la integridad del equipo. Esta revisión es muy importante y debe hacerse con mucho cuidado	10	<b>Parado</b>		

### Apéndice 3. Rutina preventiva arriba de las 250 horas del filtro prensa.

Quebrador Ochomogo Departamento de Mantenimiento Preventivo				Rutinas de Mantenimiento Preventivo Triturador de Mandíbulas			
				Marca:	Modelo :		
Máquina: Prensa lodos				Código: OCHO-3001-PLO-1			
Conjunto: Bastidor							
No.	Descripción de la Actividad (Qué y para qué?)	PER	FRE	Dur (min)	Resp	Tipo de actividad	Tipo de rutina
1	Revisar estado del abanico del motor y las aletas de enfriamiento (Motores TEFC). El abanico debe estar en su posición sin golpes y sin rozar la tapa para evitar daños. Las aletas deben estar limpias y sin fisuras para asegurar un correcto enfriamiento	250	H	15	1 TE	Eléctrica	Preventiva
2	Con el motor en marcha revisar si se presentan ruidos anormales, en particular un sonido de roce entre piezas metálicas, para determinar el estado de los rodamientos y las partes móviles	250	H	15	1 TE	Mecánica	Preventiva
3	Revisar correcto funcionamiento de las electro válvulas hidráulicas, para evitar fallas en el sistema ( Todas las válvulas deben abrirse y cerrarse normalmente)	1000	H	120	1 ST	Mecánica	Preventiva
4	Cambiar el aceite del sistema hidráulico para asegurar que el martillo trabaje con el aceite en condiciones adecuadas. Se deben limpiar tanques y cambiar filtros	2000	H	120	1 OP y 1 TM	Mecánica	Preventiva
5	Revisar correcto funcionamiento del piston cierre de la prensa, para evitar fallas en el sistema ( el piston debe abrirse y cerrarse normalmente)	1000	H	120	1 TM	Mecánica	Preventiva
6	Revisar correcto funcionamiento del cabezal movil , para evitar fallas en el sistema de sellado de la maquina (el piston debe abrirse y cerrarse normalmente).	1000	H	121	1 TM	Mecánica	Preventiva
7	Revisión de las resistencias a tierra con la Prueba Megger para verificar el estado de las bobinas .	1250	H	60	2 TE	Eléctrica	Preventivo
8	Inspeccionar estado del bobinado. Hacer limpieza de bobinas y aplicar barniz protector para recuperar el aislamiento del bobinado	2500	H	60	2 TE	Eléctrica	Preventivo
9	Inspeccionar estado del rotor para determinar roces o problemas en el eje y los asientos de los rodamientos. Adicionalmente, revise la tolerancias de los alojamientos de las tapas, de esa manera se asegura que el cambio de rodamientos no tenga problemas futuros	2500	H	60	2 TE	Eléctrica	Preventivo
10	Reemplazo de rodamientos del motor para evitar paros no programados durante el año (esta rutina aplica si no se cuenta con técnicas de mantenimiento predictivo)	2500	H	60	2 TE y 1TM	Mecánica	Preventivo
Conjunto: Estructura							
No.	Descripción de la Actividad (Qué y para qué?)	PER	FRE	Dur (min)	Resp	Tipo de actividad	Tipo de rutina
1	Revisar soportes inferiores de la prensa para evitar que por exceso de desgaste se salga un tornillo durante la operación.	250	H	30	OP	Mecánica	Preventiva
2	Revisar muro de concreto en la parte inferior para encontrar desgaste por golpes durante la operación.	1250	H	30	OP	Mecánica	Preventiva
Conjunto: Paquete filtrante.							
No.	Descripción de la Actividad (Qué y para qué?)	PER	FRE	Dur (min)	Resp	Tipo de actividad	Tipo de rutina
1	Revisar el estado del toggle plate. Mida el ancho de la misma, revise desgaste en asientos, fisuras y partes flojas, para determinar si es necesario realizar el cambio o intervenir la	250	H	15	1 OP y 1 TM	Mecánica	Preventiva
2	Revisar tornillos de los resortes de la gallina para determinar si existen una malformación o desgaste en el mismo. En caso necesario reemplácelos.	250	H	20	1 OP	Mecánica	Preventiva
3	Revisar el estado de los resortes del toggle plate, deben tener la misma medida (si no dan ajuste reportar de inmediato para su reemplazo)	250	H	15	1 OP	Mecánica	Preventiva
4	Con el triturador trabajando en vacío, revisar que no haya vibración en los asientos del toggle plate. No debe haber separación en ningún momento, ni ruidos extraños o partes	250	H	15	1 TM	Mecánica	Preventiva