



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

“Desarrollo de la ingeniería para la puesta
en marcha de una planta de tratamiento de
agua dentro de una planta de producción de
papel”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
(ÁREA MECÁNICA)
P R E S E N T A :

SAYRA ATENEA RIVERA VARGAS

DIRECTOR DE TESIS:
ING. ALFREDO MONTAÑO SERRANO



MÉXICO

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

En especial a mi mamá por su amor y su gran fortaleza.

A MIS HERMANAS

A mi hermana Argelia por su apoyo y buenos consejos y a Diana[†] por su hermosa sonrisa.

A MI FAMILIA

Mi abuela Chalita, a mi tía Susana, a Gonzalo y a mi sobrino Tristán; por todo el apoyo, cariño y alegría que me han dado.

A MI HIJA

A mi hermosa nena Diana Alessandra.

A MIS AMIGOS

Melody, Miguel Márquez, Ricardo; por su gran amistad y en especial a Jacobo Reza por la ayuda en la realización de este sueño.

Índice

	Página
Introducción	1
Objetivo.	3
Capitulo uno: “Generalidades, procesos de tratamiento de agua”	5
I. Desbaste	5
II. Decantación	5
III. Filtración	11
IV. Flotación	12
Capitulo dos: Proceso de elaboración de papel.	19
I. Características de las materias primas en la preparación del papel	19
II. Refinación	20
III. Depuración y limpieza de fibras de papel	24
IV. La sección húmeda Fourdrinier y el sistema de pasta	24
V. Prensado	29
VI. Secado	30
VII. El agua en la fabricación de papel	31
VIII. Contaminación del agua	33
Capitulo tres: “Desarrollo de la ingeniería para la puesta en marcha de una planta de tratamiento de agua dentro de una planta de producción de papel”	
1. Justificación	35
2. Caso de estudio y consumo total de agua en la planta	36
3. Descripción técnica de los equipos de tratamiento de agua	39
4. Equipo utilizado en nuestro proceso	47
5. Descripción del proceso.	48
6. Desarrollo del proyecto	52
7. Cálculo de las bombas centrifugas para parámetros propuestos	53
8. Balance de masa (ahorro real de agua)	65
Conclusiones.	68
Bibliografía	70
Anexos.	71
	89

Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida de todo ser vivo, en nuestro país el 63% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales y el restante 37% proviene de acuíferos. Según la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), la sobre extracción del agua subterránea representa casi el 40% del uso total de ésta, debido al intenso crecimiento demográfico sumado a la migración interna a regiones semiáridas y áridas el resultado es una sobreexplotación de los recursos hídricos de México. En la actualidad, sólo el 30% de las aguas servidas reciben algún tipo de tratamiento. La CONAGUA estima que el 52% del total de los recursos hídricos superficiales está muy contaminado, mientras que el 39% está contaminado de forma moderada y sólo el 9% es de calidad aceptable. (M.C. Nathalie Seguin, "Panorama nacional: agua potable y saneamiento en México).

En muchas partes del país, a pesar de la escasez del recurso se usa el agua de manera intensiva. En parte las tarifas bajas y falta de control de pago favorecen esta situación. En el año 2006, la mayor parte de agua, el 76.8% se usó para actividades agrícolas, mientras que sólo el 13.9% se asignó al abastecimiento público, el 5.4% a termoeléctricas y el 3.8 % a la industria autoabastecida. (M.C. Nathalie Seguin, "Panorama nacional: agua potable y saneamiento en México)

Dentro de estas industrias tenemos a la papelera en México que genera alrededor de 3,400 millones de dólares al año, el consumo aparente de los artículos elaborados por la industria del papel asciende a 6.7 millones de toneladas, con el uso de fibras secundarias (recicladas) como materia prima. El uso de dichas fibras genera importantes ventajas ambientales y económicas, pero genera un mayor número de contaminantes por el uso de agentes químicos incorporados en el proceso de elaboración de papel. El proceso de elaboración de papel ya sea con celulosa o con fibras naturales requiere el uso de grandes cantidades de agua, un estimado es que por cada tonelada de papel reciclado son utilizadas dos toneladas de agua. (Enrique de la Madrid Cordero "Financiera Rural")

El objetivo del presente trabajo es la correcta instalación de los equipos de tratamiento de agua dentro del proceso de fabricación de papel, este proyecto se está montando actualmente en la planta CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V (Convertipap). Ubicada en carretera Picacho Ajusto # 130 Municipio de Ixtapaluca, Estado de México, la cual cuenta con dos líneas de producción, con un total de producción de 2500 toneladas por mes y un consumo de agua de 815.35 L/min o 1174.10 m³ al día.

La primera parte del proyecto fue la Selección de equipos, para el tratamiento de agua, dicha selección se hizo con base a las características de nuestra agua de proceso para elegir el mejor

método de separación, se llevó a cabo el arreglo de tubería basado en la ingeniería de detalle con base a la infraestructura dentro de la empresa.

Otro paso que se llevó a cabo para el desarrollo de este proyecto fue la estimación de la capacidad de las bombas centrífugas que darán el transporte mecánico dentro de nuestra preparación de tuberías por medio del programa piperflowexperts, la construcción de los tanques que alojarán cada uno de los diferentes grados de contaminación del agua en nuestro proceso de tratamiento de esta misma. El proceso para nuestra planta es delimitado por las máquinas de papel (que en este caso son dos) las cuales manejan diferentes grados de contaminación del agua debido a la versatilidad con la que cuentan para poder fabricar diferentes tipos de papel.

Como punto de referencia se nombrarán máquina No. 1 y máquina No. 2, teniendo en cuenta que dentro del presente trabajo se describirá cada una de ellas; la máquina No. 1 es conocida como tissue, la cual su principal diversidad entre los diferentes tipos de máquina radica en la forma de secado ya que está se da por un cilindro el cual es el encargado de dar la sequedad necesaria que requiere nuestro papel.

La máquina No. 2 opera con una batería de secadores los cuales al igual que la máquina No. 1 son las que se encargan de reducir el agua contenida en la pasta. La calidad del agua para cada una de las máquinas son similares, ya que estas poseen una concentración de 2000 ppm, las cuales son las que alimentan al Quadrafloat. El Quadrafloat es uno de los equipos principales dentro del tratamiento de agua ya que es el encargado de flocular y concentrar la mayor cantidad de fibra contenida en el agua a tratar, así mismo tiene la función de separar las diferentes fases dentro de sí. Así mismo se tiene el GyroSand Filter y el Conustrenner que son los equipos que siguen al Quadrafloat ellos se encargan de separar por medio de filtración las pequeñas partículas de papel que no pudieron ser separadas por el Quadrafloat, y así asegurar que el agua pueda ser incorporada a nuestro proceso.

Objetivo.

- Plantear un sistema de tratamiento de agua útil y eficaz para nuestro proceso, evitando al máximo el desperdicio y optimizar el consumo de agua, recuperándola para volver a utilizar el mayor número de veces en el proceso.
- Desarrollar la ingeniería básica del proceso de recuperación de agua y evaluar la eficacia del sistema propuesto.

Capítulo I. Generalidades.

Procesos para el tratamiento de agua.

El agua es depurada por distintos tratamientos de separación elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas con el objetivo de eliminar las materias en suspensión, las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas (minerales u orgánicas). Las materia en suspensión pueden ser desde: partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas) hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partículas de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). La eliminación de la materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas, sin embargo en muchos casos y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químico-físicos.

A continuación se describirán las operaciones unitarias más habituales, la utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas.

Las propiedades físicas que se deben de tomar en cuenta para el tratamiento de agua son:

a) Masa volumétrica.

Esta varía con presión y la temperatura, por compresión del edificio molecular. Se observa con un máximo a 4,08 °C a la presión de un bar, a 3,8 °C a 10 bar.

b) Viscosidad

Es la propiedad que tiene un líquido de oponer resistencia a todo movimiento, ya sea interno o global como el flujo. Disminuye cuando aumenta la temperatura.

La presión moderada hace al agua menos viscosa a bajas temperaturas, si continúa aumentando la presión el agua vuelve a tomar la estructura de líquido desprovisto de una sujeción interna y sigue la regla general, la viscosidad crece con la presión.

c) Tensión superficial.

Se define como la fuerza de atracción que se ejerce en la superficie del líquido y tiene siempre a reducir la extensión de dicha superficie. La tensión superficial (γ) del agua es 73×10^{-3} N/m a 18°C y de $52,5 \times 10^{-3}$ N/m a 100°C. Es tal que provoca una ascensión capilar de 15 cm a 18°C en un tubo de 0,1 mm de diámetro.

I. DESBASTE

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminar y evitar daños en equipos posteriores del resto del proceso, es un tratamiento previo a cualquier otro.

El equipo a utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 mm o más, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica. En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones.

II. DECANTACIÓN O SEDIMENTACIÓN.

La decantación es una operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del decantador.

Podemos distinguir dos tipos de materiales separables por decantación:

- Las partículas granulares, que sedimentan independientemente una de otras, con una velocidad de caída constante.
- Las partículas más o menos floculadas, que resultan de una aglomeración natural o provocada de las materias coloidales en suspensión.

Cuando se tiene una concentración de materias en suspensión pequeña, el floculo disperso sedimenta como si estuviera solo, pero su velocidad de caída aumenta a medida que su tamaño crece, como producto de su encuentro con partículas más finas, se trata de una sedimentación difusa. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc...).

Para definir la estructura de un decantador es necesario definir los número de Reynolds y de Froude cuyos valores deben conciliarse para tener un flujo lo menos turbulento posible y al mismo tiempo suficientemente homogéneo, la disipación de la energía al nivel de la distribución del agua a la entrada del aparato, que deberá hacerse progresivamente, de manera que no se creen turbulencias perjudiciales para la decantación.

El estudio hidráulico de este sistema no solo se limita a la fase líquida sino también al flujo, a la concentración y a la evacuación de los fangos producidos, cuyos parámetros deberán ser tomados a consideración.

II.I Diferentes tipos de decantadores.

1. Decantadores estáticos sin rascado.

A. Decantadores cilíndrico-cónicos.

Las características de estos equipos es que su flujo es vertical, la pendiente de la parte cónica del aparato estará comprendida entre 45 y 65°, según la naturaleza del agua tratada, la velocidad ascensional media será de 0,5 a 1 m/hr en el caso de decantación primaria de aguas residuales urbanas, el cual se muestra en la fig. 1.1

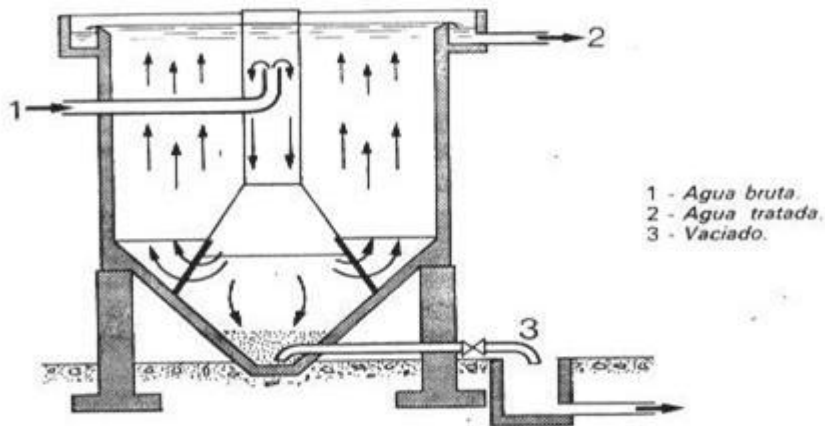


Fig. 1. 1 Decantador cilindro-cónico

B. Decantadores laminares.

Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas paralelas o tubos inclinados respecto a la base y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente, las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se concentran en la tolva del fondo del aparato.

El Sedipac, representado en la figura 1.2, reúne en un mismo recinto, una zona de mezcla del agua y los reactivos de tratamiento, un floculador acelerado equipado del dispositivo de "placas deflectoras" arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se "empujan" hacia la salida.

Estos fangos en muchas ocasiones, en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final.

Estos equipos generalmente son utilizados en la depuración de agua de minas, aguas de lavado de carbón, y en general en cualquier tipo de agua que contenga materias pesadas que puedan sedimentar espontáneamente.

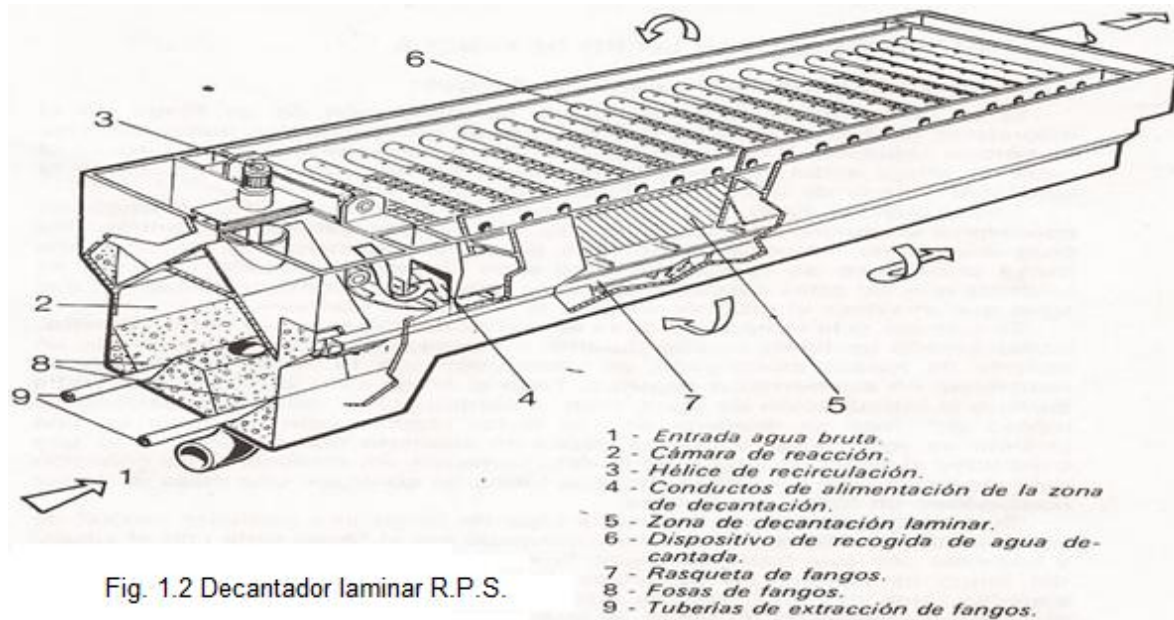


Fig. 1.2 Decantador laminar R.P.S.

2. Decantadores estáticos con barrido mecánico de fangos.

Este tipo de decantadores se utilizan generalmente en el desbaste de agua bruta, y en el tratamiento primario, clarificación y depuración química de aguas residuales.

Convenientemente los fangos son extraídos a medida que se van formando, con el barrido de fangos en el fondo del decantador, se consigue el espesamiento de los mismos: el volumen a extraer es pequeño y el agua evacuada con los fangos es mínima, los fangos son enviados a fosas especiales.

A. Decantadores circulares

En este tipo de decantadores se tiene un sistema de barrido que va sujeto a una estructura que gira alrededor del eje del depósito, puede llevar una sola lámina o una serie de rasquetas montadas en “celosía”. El sistema de barrido puede ser radial o diametral; la construcción más frecuente es la del puente radial, de arrastre periférico. En este equipo se tiene un motoreductor que acciona una rueda motriz que se desplace sobre el muro de coronación del decantador.

La barredera de superficie va fijada rígidamente a la pasarela giratoria. Las rasquetas de fondo, cuya fijación generalmente va articulada, son arrastradas por la misma pasarela. En el caso de arrastre central, la estructura metálica se compone de dos brazos radiales suspendidos de una corona dentada central, accionada por un motoreductor fijo. Sobre una pasarela diametral fija o una columna diametral de hormigón que descansa sobre el fondo del decantador, se soportan la corona central y el grupo de arrastre.

Estos decantadores pueden ir equipados por un sistema de floculación de agitación lenta, que se sitúa en el centro del aparato. El agua floculada pasa a través de amplias aberturas sin vertedero (con el fin de evitar la turbulencia excesiva) a la zona periférica de la decantación, en la que se depositan las partículas floculadas y las materias en suspensión.

Los decantadores circulares generalmente tienen alturas periféricas del agua comprendidas entre 2 y 3,50 m como se muestra en la Fig. 1.3

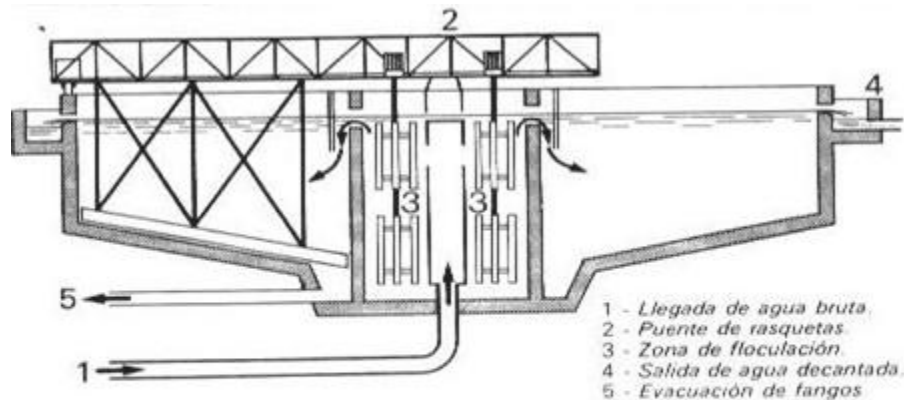


Fig. 1.3 Decantador floculador con puente de rasquetas de arrastre periférico, sin recirculación de fangos.

B. Decantadores longitudinales rectangulares

La velocidad de desplazamiento horizontal del agua en estos aparatos es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). La profundidad de los depósitos está comprendida entre 2,5 m y 4 m. La pendiente del fondo es del orden de 1%. Normalmente se adopta una relación de longitud /anchura comprendida entre 3 y 6 m.

El sistema de barrido puede ser accionado por puente, que abarque el depósito y que se desplace de un extremo a otro del decantador, o mediante cadena sin fin sumergidas. Las fosas de fango están situadas debajo de la llegada del agua bruta, el rascador de fondos desplaza los fangos en sentido contrario al de circulación del agua y el rascador de superficie en el mismo sentido suelen

ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo. Figura 1.4

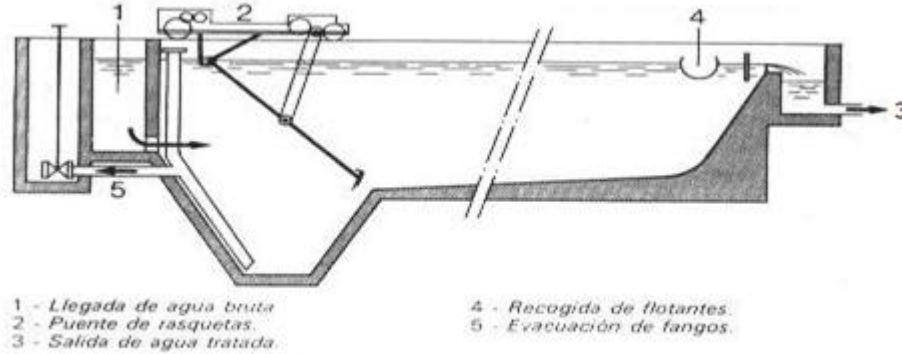


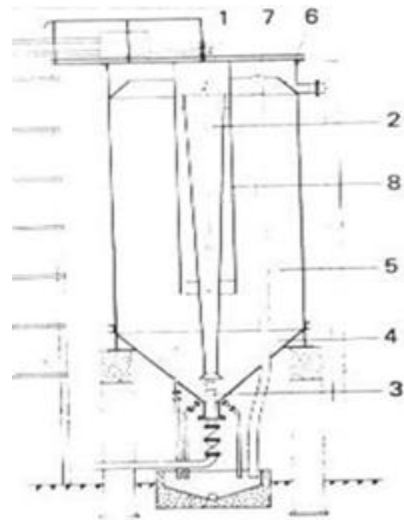
FIG. 1.4 Decantador longitudinal, con puente de rasquetas.

3. Decantadores de recirculación de fangos.

Este tipo de decantadores se caracterizan por una zona de reacción y una de decantación. Aquí los fangos son recolectados en la base de esta última y son enviados nuevamente a la zona de reacción algunos de los principales modelos son los siguientes.

A. Decantador circulator.

Esta máquina está provista de un dispositivo hidráulico muy eficaz con el que se consigue la aceleración de las reacciones por circulación de los precipitados formados con los reactivos y el agua a tratar. Se utiliza cuando se desea conseguir una floculación y una decantación acelerada, en pequeñas instalaciones para agua de abastecimiento. Generalmente consta de un fondo cónico, para facilitar el deslizamiento de los fangos hacia el eyector que efectúa la recirculación. El Circulator puede clarificar o decarbonatar normalmente el agua con un tiempo de retención comprendido entre 45 min. y 2 hrs.

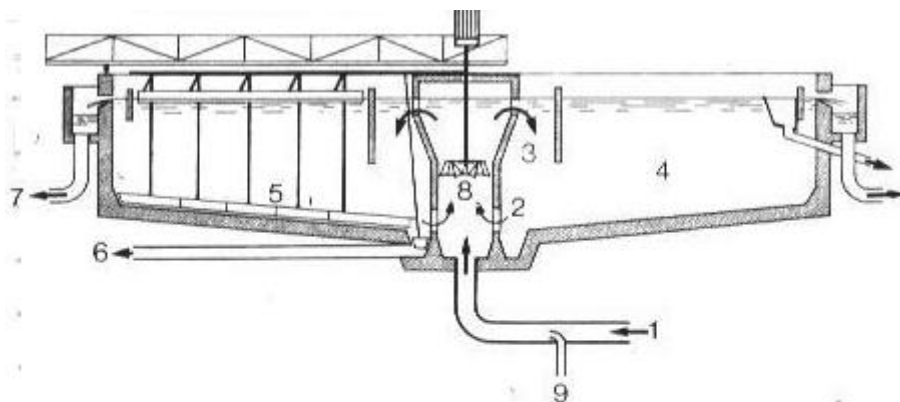


- 1 Reactivos
- 2 Zona de reacción
- 3 Hidroeyector
- 4 Concentración de fangos
- 5 zona de decantación
- 6 Colector de agua decantada.
- 7 Rebose
- 8 Campa reflectora

Fig. 1.5 Decantador CIRCULATOR en descarbonatación

B. Decantador turbocirculator.

En este aparato la recirculación de los precipitados formados se realiza mediante una hélice de perfil, esta hélice evita que se rompan los precipitados frágiles de hidróxido metálico, que no soportarían la recogida por eyector hidráulico, y permite que el aparato se utilice tanto en clarificación como en desendurecimiento. La zona de reacción situada en el centro del aparato, permite una reacción completa de coagulación, floculación, desendurecimiento e incluso de oxidación. Un sistema de barrido eleva a los fangos de forma continua, hacia el centro de donde se recogen por el sistema de recirculación, o se dirigen hacia una fosa de fangos, en la que se concentran o donde se extraen intermitentemente. Figura 1.6



- 1 - Llegada de agua bruta.
- 2 - Recirculación de fangos.
- 3 - Maduración del floculo.
- 4 - Zona de decantación.
- 5 - Rascadores.
- 6 - Fangos en exceso.
- 7 - Salida de agua tratada.
- 8 - Hélice de mezcla agua bruta-fangos recirculados.
- 9 - Introducción de reactivos.

Fig. 1.6 Decantador TURBOCIRCULATOR.

III. Filtración

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla solido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos. La misión de los filtros es retener en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido; a la primera la llamaremos “filtración en superficie” y a la segunda “filtración en profundidad”. La filtración en superficie se efectúa sobre un elemento soporte mientras que la filtración a profundidad a través de un lecho filtrante.

Elección del tipo de filtración.

La correcta selección entre los diversos tipos de filtración en superficie y filtración profunda, depende de diversos criterios como son:

- Características del líquido a filtrar, de sus impurezas y de su evolución con el tiempo.
- Calidad del filtrado que debe obtenerse y tolerancias admitidas, si se tiene como fin su recuperación.
- Condiciones de instalación.
- Posibilidades y medios disponibles para el lavado.

En la selección de un filtro, es importante la posibilidad de un buen lavado fácil, eficaz y económico, como lo es la obtención de la calidad de agua filtrada.

Los filtros son muy variados, la elección del más adecuado así como de las condiciones óptimas de operación, son función de diversos factores entre los que cabe destacar los siguientes:

- Las propiedades del fluido: especialmente viscosidad, densidad y propiedades corrosivas.
- La naturaleza del sólido: tamaño y forma de las partículas, distribución de tamaños y características del relleno.
- La concentración de los sólidos en la suspensión a filtrar.
- La cantidad de material a tratar y su valor.
- Si el producto que interesa es el sólido, el fluido o ambos.
- Caudal de suspensión a tratar.
- Necesidad de lavado del sólido filtrado.

La filtración es una operación mecánica, que no requiere una gran cantidad de energía. En la operación típica mostrada en la Figura 1.7 se establece gradualmente una torta sobre el medio filtrante, incrementándose progresivamente la resistencia al flujo. En los instantes iniciales de la operación se depositan partículas en las capas superficiales del soporte, formándose el medio filtrante.

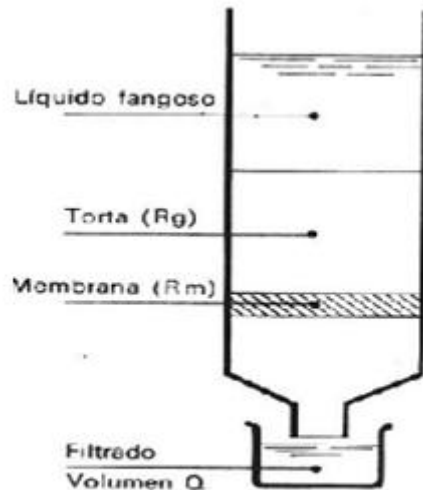


Fig. 1.7 Filtración superficial

Los factores más importantes de los que depende la velocidad de filtración son, por lo tanto:

- La caída de presión desde la alimentación hasta el lado más lejano del medio filtrante.
- El área de la superficie filtrante.
- La viscosidad del filtrado.
- La resistencia de la torta filtrante.
- La resistencia del medio filtrante y de las capas iniciales de torta.

IV. FLOTACIÓN

La flotación es un proceso de clarificación primaria particularmente efectivo para tratar aguas con baja turbiedad, altamente coloreadas y con gran contenido de algas. Consiste en la separación de las partículas naturales presentes en el agua cruda, coaguladas o floculadas, mediante el uso de sales de aluminio o de hierro y de polímeros.

En la flotación interviene la diferencia entre la masa volumétrica de los sólidos o flóculos y la del líquido en que se encuentran en suspensión. Sin embargo, contrariamente a lo que ocurre en la decantación, este proceso de separación sólido-líquido únicamente se aplica a partículas que tienen una masa volumétrica real (flotación natural) o aparente (flotación provocada) inferior a la del líquido que la contiene.

Para que sea factible la flotación de partículas sólidas o líquidas más densas que el líquido, es preciso que la adherencia de las partículas a las burbujas de gas sea mayor que la tendencia a establecer un contacto entre las partículas y el líquido. Este contacto entre un sólido y un líquido se

determina mediante la medida del ángulo formado por la superficie del sólido y la burbuja de gas. Ver Fig. 1.8

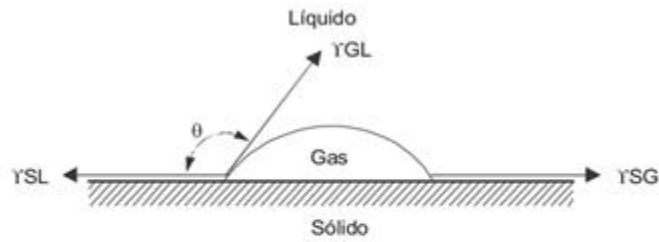


Fig. 1.8 Ángulo entre la superficie del sólido y la burbuja de gas (θ)

Si $\theta=0$, el contacto entre el sólido y el líquido se realiza de forma perfecta, es imposible la adherencia sólido-gas. Si $\theta=180^\circ$, el contacto entre el sólido y el líquido es nulo, es óptimo el contacto sólido-gas. Se trata de un caso límite que nunca se da en la práctica, puesto que ningún líquido da un ángulo θ mayor de 110° (caso del mercurio).

Entre estos dos valores, la adherencia partícula–gas aumenta con el valor del ángulo θ .

Puede considerarse este tipo de flotación de una partícula en el caso de partículas sólidas o líquidas (aceites) que tienen una forma relativamente simple y una naturaleza conocida. En el caso de partículas floculadas, a los fenómenos de superficie se suman las adherencias mecánicas ligadas a la estructura de los flóculos, especialmente inclusiones de gas en los flóculos.

El ángulo θ se puede aumentar mediante el uso de sustancias tenso activas que forman una película hidrófoba alrededor de las partículas. Tales sustancias poseen en sus moléculas una parte no polar (hidrófoba), que es atraída por las burbujas de aire en ascensión y otra polar (hidrófila), que es atraída por la fase dispersa. El empleo de sustancias espumantes también ha sido recomendado para formar una mezcla más estable de burbujas y partículas, tales sustancias tienen, además la propiedad de reducir el tamaño de las bolas de aire, aumentando la superficie específica de las mismas, para proporcionar mayor capacidad de absorción y tiempo de contacto, ya que bolas de aire pequeñas poseen menores velocidades ascensionales.

Los mecanismos de contacto entre las bolas de aire y las partículas pueden resultar de las siguientes acciones:

a) Colisión entre la bola y la partícula, debido a la turbulencia o/a la atracción entre ambas.

b) Aprisionamiento de las bolas contra los flóculos o contacto entre los flóculos que están sedimentando y las bolas de aire en ascensión.

c) Crecimiento de las bolas de aire entre los flóculos. Cuando se tienen partículas hidrofílicas, los mecanismos b y c parecen ser los responsables de la eficiencia de la flotación, en tanto que el mecanismo aparece predominar en la obtención de una ligazón más estable entre las bolas de aire y las partículas, las cuales requieren un cierto grado de hidrofobia.

Cualquier sistema de flotación debe presentar las siguientes características:

- ✓ Generación de bolas de tamaño apropiado en relación con las partículas que se desea remover.
- ✓ Adherencia eficiente entre las bolas de aire y las partículas en suspensión.
- ✓ Separación adecuada del material flotante.

Principales sistemas de flotación.

1. Flotación natural.

La flotación puede ser natural cuando la masa volumétrica de las partículas que se requieren eliminar es inferior a la del agua. Se emplea una flotación natural para el pre des aceite de aguas de refinerías, laminación, etc...

2. Flotación mecánica o provocada.

La flotación provocada se produce por la fijación artificial de burbujas de aire o de gas sobre las partículas a eliminar, confiriéndoles así una masa volumétrica media inferior a la del agua. Se utiliza especialmente para la separación y concentración, por formación de espuma de los minerales. El mineral triturado en forma de partículas de diámetro generalmente inferior a 0,2 mm se pone en suspensión del agua, a la que se le añade un agente colector, que favorece la adherencia del aire a las superficies, haciéndolas hidrófobas y un agente espumante.

La suspensión así acondicionada se introduce en el centro de un rotor que gira a gran velocidad, que igualmente aspira aire. Las burbujas de aire finalmente divididas aparecen generalmente durante la impulsión de la emulsión a través de una jaula que rodea al rotor.

3. Flotación por inyección de aire.

Se trata de una flotación natural mejorada por inyección, el seno de la masa líquida de burbujas de aire de algunos milímetros de diámetro. Se utilizan, para ello cuerpos porosos, o en el caso de

líquidos muy cargados difusores de burbujas de tamaño medio, dispuestos de forma que provoquen turbulencias locales que favorecen la división de las burbujas de aire. El tamaño de las burbujas debe ser suficientemente pequeño para que puedan adherirse a las partículas que deben flotar.

En las instalaciones destinadas a la eliminación de materias ligeras (grasas, aceites espesos, fibras gruesas, papeles, etc.) se prevén generalmente dos zonas, una de agitación y emulsión, la otra en calma de flotación, la figura 1.9 representa el esquema del principio del proceso. En la zona de emulsión, la suspensión se agita y se mezcla con el aire. El recorrido de las burbujas de aire aumenta por el movimiento en espiral creado por la agitación. En la zona de separación y de barrido de las materias flotantes el caudal es muy pequeño y por consiguiente, la turbulencia muy reducida.

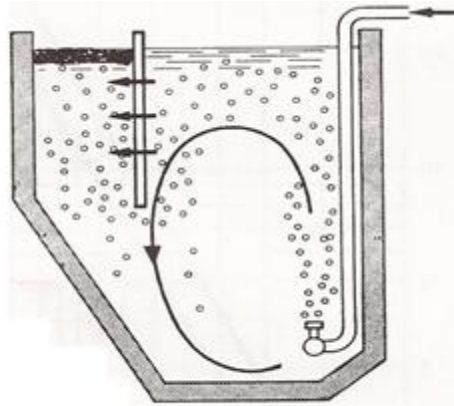


Fig. 1.9

4. Flotación por aire disuelto.

Influencia del tamaño de las burbujas: La separación por flotación de las partículas sólidas en suspensión en un líquido sigue las mismas leyes que la sedimentación, pero en un campo de fuerza invertido. La uniformidad y la continuidad están ligadas al diámetro de las burbujas emitidas en la malla líquida. Las burbujas solo producen un efecto de flotación en la medida en que se fijan a las partículas. Esto supone, generalmente, que su diámetro sea inferior al de las materias o flocúlos en suspensión. Un proceso de flotación sin empleo de micro- burbujas solo podrá utilizarse en el caso de suspensiones que contengan materias voluminosas y ligeras, cuya recolección de la superficie no está entorpecida por los movimientos de tipo torbellino.

Podemos concluir que las aplicaciones del proceso de flotación en el tratamiento de aguas son los siguientes:

- Separación de aceites floculados o no, en agua residuales de refinerías, aeropuertos y metalurgia.
- Separación de hidróxidos metálicos o de pigmentos en tratamiento de aguas residuales e industriales.
- Espesamiento de fangos activados procedentes del tratamiento de aguas residuales orgánicas.
- Separación de materias floculadas en clarificación de agua.
- La separación y recuperación de fibras en aguas de papeleras.

Flotadores

Los flotadores pueden ser construidos de forma circular o rectangular, esta última se utiliza generalmente en el tratamiento de aguas de abastecimiento público, ya que esta permite agrupar en forma compacta el floculador, el flotador y los filtros.

En la mayoría de las veces se efectúan ensayos previos para así hacer el dimensionamiento, este se encuentra condicionado por la velocidad descendional y la cantidad de materia separable por flotación, por unidad de superficie y tiempo.

La alimentación de agua se hace por medio de una columna que tiene por objeto:

- ❖ La puesta de agua a tratar con el agua presurizada. Esta expansión del agua presurizada deberá efectuarse, a la entrada del aparato.
- ❖ Una dispersión de la energía cinética de la mezcla agua bruta-agua presurizada y reducción de las velocidades antes de su introducción en la zona de flotación.

Se deben tomar diversas precauciones para la tranquilización de la mezcla y estas varían según el grosor, la estabilidad y la densidad de las materias que deben flotar, floculadas o no. El agua emulsionada se introduce, generalmente en la mitad superior del aparato, la retirada de fangos se efectúa en la superficie libre. La salida del líquido claro se dispone lo más alejada del fondo del aparato, se efectúa frecuentemente en una cámara periférica limitada por un sifón y en algunos casos con colectores ramificados sumergidos.

Cámara de flotación

La cámara de flotación puede ser de sección rectangular o circular. En el caso de cámaras rectangulares es recomendable la instalación de una pantalla con un ángulo de inclinación de 60° con la horizontal y con 30 a 50 cm de largo, conforme se muestra en la figura 11. El ancho de la

cámara depende del tipo de equipo usado para el raspado del material flotante y rara vez excede de 8 metros.

El largo puede variar entre 4 y 12 metros siempre que no ocurran las situaciones A o C (ver la figura 1.10). En el primer caso el largo es insuficiente y en el segundo hay deposición de material flotante. La profundidad varía entre 1 y 3 metros, dependiendo del tipo de dispositivo para la distribución de agua presurizada en el interior de la cámara de flotación.

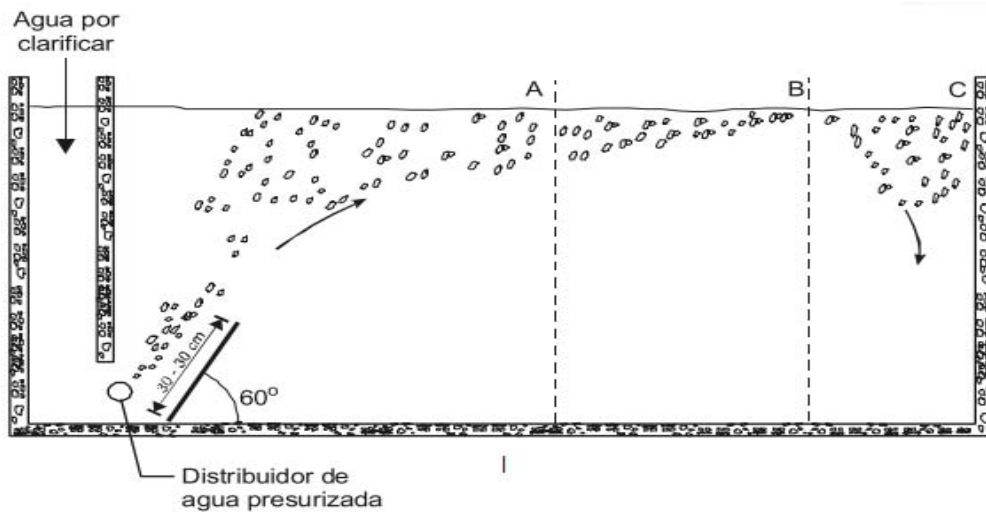


Fig. 1.10 Cámara de flotación rectangular

En la figura 1.11 se muestra el esquema de una cámara de flotación circular. La mezcla de agua presurizada con el agua por clarificar se hace en un punto próximo a la entrada de la cámara de flotación, que en el centro posee un ducto también circular, para conducir el agua a la parte superior y evitar cortocircuitos.

El material flotante es continuamente raspado hacia una o más canaletas de colección. Mientras el agua hace un movimiento descendente, pasa por la parte inferior del cilindro intermedio y es colectada en la canaleta localizada en la periferia del cilindro externo.

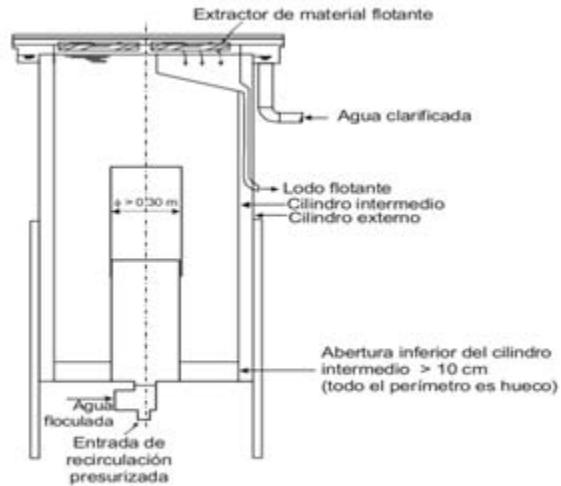


Fig. 1.11 Cámara de flotación circular

La cámara de flotación, independientemente de la forma que tenga, es proyectada para un tiempo medio de retención comprendido entre 10 y 20 minutos y una tasa de escurrimiento superficial de 100 a 300 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. La calidad del agua cruda y las condiciones de pretratamiento influyen tanto en el tiempo de retención como en la tasa de escurrimiento superficial, razón por la cual es fundamental realizar una investigación antes de elaborar el proyecto definitivo.

Capítulo II

Proceso de elaboración de papel.

En este capítulo se describirá de manera general el proceso de la elaboración de papel, el cual comprenderá desde las materias primas, los aditivos, la máquina fourdrinier, el secado etc... se describirá el uso de agua dentro del mismo.

I. CARACTERÍSTICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS EN LA PREPARACIÓN DEL PAPEL.

Celulosas

La celulosa es el material fibroso que producen las plantas vegetales, o sea, es el constituyente fundamental de todos los tejidos vegetales, ya que unidas sus moléculas en largas cadenas, forman las fibras que dan a las plantas su fuerza y forma, es un sólido incoloro, inodoro, insoluble en agua y en disolventes orgánicos.

Por su contenido de celulosa en este caso las maderas, deben ser procesadas por métodos de molienda a los troncos se les convierte en astillas y se les sumerge en sustancias químicas que disuelven la lignina, las resinas y los minerales naturales de la madera, este proceso se denomina “digestión” de estos procesos se obtiene las celulosas de:

- Madera al sulfato sin blanquear
- Madera al sulfato blanqueada
- Madera al sulfito sin blanquear
- Madera al sulfito blanqueada
- Pasta mecánica de madera sin blanquear
- Pasta mecánica de madera blanqueada

Productos químicos

Muchos papeles contienen aditivos no celulósicos que mejoran las propiedades, que el producto final requiere en su uso, entre estos se mencionan:

- **Aditivos para el proceso.** Los aditivos para proceso son aquellos que se involucran, integran y afectan directamente el proceso de fabricación del papel de uso específico de cada uno de ellos se podría describir en la siguiente clasificación:
 - Almidón: Encolado superficial
 - Resina Encolante: Carga para relleno de poros naturales de la fabricación de papel, blancura.
 - Agente de retención: Mejoras de la formación de la hoja de papel reteniendo finos y cargas.
 - Sulfato de aluminio: Control de pH para que funcione el material encolante.

- Anilinas: Teñido de la mezcla.
- Dispersantes: Separación de grumos naturales de las pastas mecánicas o del material de merma.
- **Aditivos para operación.** Los aditivos para operación son aquellos que se utilizan en la máquina de papel para mejorar o mantener uniforme la calidad de la guía de papel en su viaje en la operación, enfocándonos principalmente hacia aquellos aditivos que se utilizan para la limpieza del sistema y vestiduras. Un sistema limpio y las vestiduras acondicionadas ayudan al buen desarrollo y fabricación.

A continuación se describirá brevemente cada uno de los principales procesos de la elaboración de papel.

II. REFINACIÓN.

Se denomina refinación a la acción mecánica a la que se sujeta la fibra, en suspensión acuosa, para “acondicionarla” a las características que requiere el papel que se está fabricando. A esta acción mecánica también se le conoce con el nombre de “batido” debido al equipo que hace muchos años se utilizaba y se conocía como pila Holandesa y en la cual se batía la fibra.

Este proceso busca una mayor desfibrilación de las fibras resultantes de la digestión.

Consiste en una separación de las capas de celulosa que componen a las fibras, para aumentar la superficie de contacto entre ellas y generar así mayores puntos de unión y papeles más resistentes.

El grado de refinación de las fibras determinará varias características del papel fabricado con ellas, por lo que a mayor refinación:

- Habrá mayor resistencia a la explosión (presión sobre el papel) pues las fibras tienen más puntos de contacto entre ellas.
- El papel tendrá mayor densidad, por el desfibrilamiento.
- El papel tendrá menor opacidad y por lo tanto mayor translucidez pues habrá menos espacios de aire entre las fibras, que son translúcidas. (por ejemplo: el papel albanene puede deber su transparencia a un alto refinado).
- El papel será más sensible a la humedad, por la gran cantidad de fibras y micro fibras que reaccionan ante ésta.

La refinación es someter a la fibra a fuerzas mecánicas e hidráulicas que alteran sus características, teniendo dos tipos de esfuerzos:

1. **Esfuerzos cortantes** que están causados por las acciones de tensión, enrollado y torcido entre las barras, las hendiduras y canales del refinador.
2. **Esfuerzos normales de tensión y compresión** que están causados por las acciones de doblado, enrollado retorcido aplastamiento, tracción y empuje sobre los agregados de la fibra situados entre las superficies de las cuchillas.

Tipos de refinadores y sus características.

Los refinadores trabajan con un flujo continuo de pasta con o sin recirculación de la misma. Después de la refinación la pasta pasa a lo que se ha denominado "sistema de acercamiento a la máquina". Esto significa la operación de la refinación de la pasta, es la etapa en la que se le dan las propiedades finales a la fibra, necesarias para la calidad requerida del papel particularmente las resistencias físico-mecánicas del papel.

Una de las principales variables de los refinadores es la separación entre las cuchillas del rotor y del estator del refinador, otra de ella es la consistencia de la pasta y el tiempo de refinación (intensidad); la separación entre cuchillas va a estar determinada por el tipo de fibra y por los resultados deseados. Si al pasar la pasta una sola vez por el refinador no se obtiene el grado de refinación deseado, deben tomarse las siguientes correcciones:

- Modificar el espacio entre cuchillas, al cerrarlas se incrementa la carga de energía consumida y también se incrementa el grado de refinación.
- Reducir el flujo de pasta, esto implica incrementar el tiempo de refinación.
- Usar dos o más refinadores en serie.
- Descargar la "primera" pasta a un tanque de descarga y volverla a pasar por el refinador.

En la preparación de pasta en operación continua, se utilizan particularmente dos tipos de refinadores:

1) Refinadores cónicos o semi cónicos.

Los afinadores cónicos se subdividen en cónicos de Angulo pequeño (conocidos como Jordan) y con Angulo grande (Clafin, semi cónicos) en este tipo de refinadores las cuchillas metálicas están orientadas en el sentido longitudinal del rotor y de la carcasa (estator), las fibras fluyen paralelamente a las cuchillas, la posición del cono que presenta un desplazamiento horizontal, determinando el espacio dejado entre cuchillas y controla a su vez la cantidad de trabajo suministrado a las fibras.

La Fig. 2.1 se ilustra un jordan típico, consiste en un elemento cónico de hierro fundido, llamado cono, que está montado en una flecha que lo atraviesa y que esta soportada en cada extremo

sobre chumaceras. La chumacera en el extremo pequeño del cono, recibe el movimiento de tipo radial antifricción, en tanto que la del extremo grande del cono es también chumacera antifricción, pero se combina la fuerza radial y de empuje. Las barras o chuchillas que están a todo lo largo del cono se mantienen en posición apropiada por estar montadas en las ranuras maquinadas en el cuerpo del cono. En el extremo grande del cono hay más barras, con objeto de mantener un espaciamiento razonable entre ellas y poder igualar el desgaste a todo lo largo del cono. El cono gira dentro de un pesado cuerpo de hierro fundido, el cual está provisto de una carcasa. Esta está constituida por un conjunto de barras, con espaciadores de madera u otro material entre ellas, la carcasa está del tal modo colocada en el cuerpo, que sus barras hacen contacto con las del cono cuando este gira.

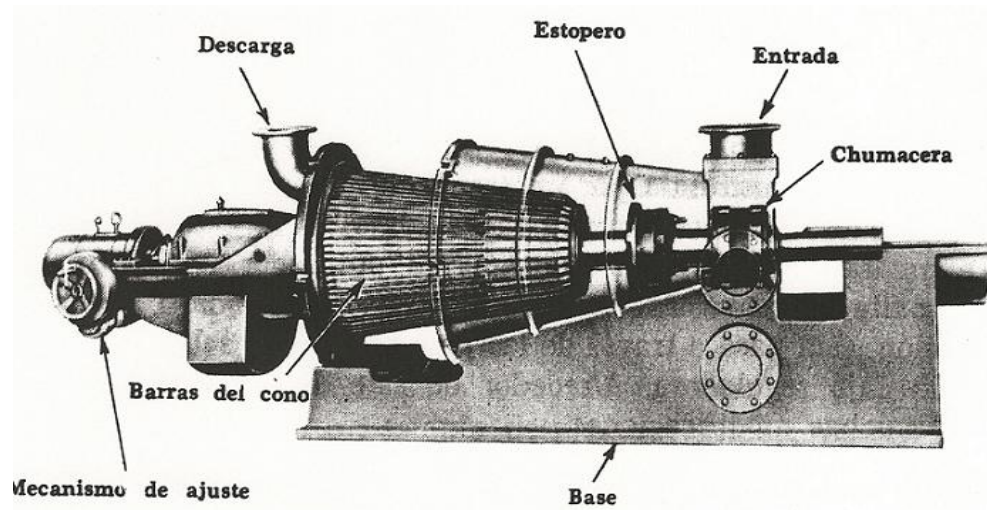


Fig 2.1 Refinador jordan

2) Refinadores de disco.

En la figura 2.2 se ilustra un refinador de disco, consiste en un disco rotatorio montado sobre una flecha que esta apropiadamente soportada en chumaceras que descansan en cuerpos de la chumacera colocada sobre una fuerte base de hierro fundido y de un disco estacionario en forma conveniente montado en la estructura de la máquina, que esta de lado opuesto al disco rotatorio. Bajo la presión de una bomba, la pasta entra por la abertura que hay en el centro de lo discos, hacia la cámara de descarga, en donde sale de la máquina, el tipo de refinador ilustrado es de tipo de alimentación por bombeo, en el que el paso de la pasta por el refinador está controlado por una válvula de descarga, que actúa para evitar que la pasta sea “botada” por la unidad aplicando una retro presión.

El ajuste del claro del disco se logra mediante un cilindro hidráulico que, por medio de una culata fundida integralmente con el cuerpo de la chumacera, hace que la flecha con el disco rotatorio se acerque o aleje del disco estacionario.

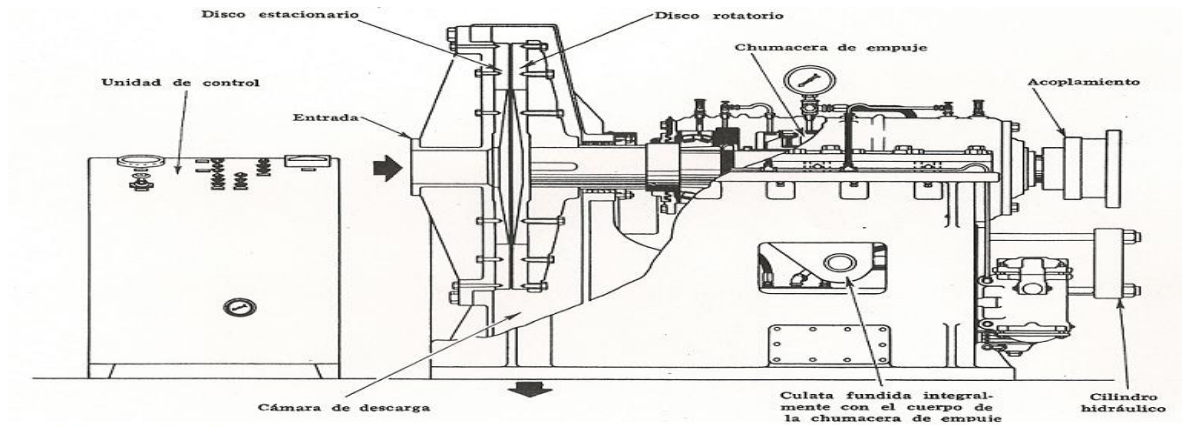


Fig. 2.2 Refinador de disco.

La flecha giratoria está conectada directamente a un motor por un cople habilitado para permitir el movimiento lateral de la flecha, los discos son paralelos entre todos los puntos de sus caras, los espacios entre las barras son más profundos en el centro que en la periferia para proporcionar un grado creciente de acción refinadora a medida que disminuye esta profundidad.

Existen muchas variaciones en los modelos de barras que deben adaptarse a las necesidades del trabajo, estas pueden colocarse de forma radial, angular o tangencialmente, o en cualquier combinación de acuerdo con los modelos en los cuales se fundieron, los discos o segmentos están asegurados por medio de pernos a la placa posterior y al elemento giratorio, y el diseño integral está de tal modo que la sustitución de los discos gastados se lleva a cabo fácilmente.

Los refinadores de disco tienen las siguientes ventajas sobre los refinadores cónicos:

- Menores requerimientos de energía en vacío.
- Se puede trabajar con mayor consistencia.
- Puede aplicarse mayor carga, lo mismo que se puede aplicar mayores rpm.
- Mayor versatilidad en el diseño de las lacas.
- Auto corrección del desgaste de las guarniciones.
- Diseños más compactos.
- Menor inversión de capital por tonelada de producción.

III. DEPURACIÓN Y LIMPIEZA DE FIBRAS.

El uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto de que algunas papeleras su principal materia prima es completamente el papel de desecho. Ya que el costo por la adquisición de celulosa como materia prima es demasiado costoso, las empresas han basado su proceso en el reciclaje de fibras las cuales están identificadas como:

- OCC: fibra básicamente constituida por cajetillas de cigarros, medicinas.
- PRIMERA BLANCA: producto terminado de otras empresas que no cumplen con el control de calidad conocido dentro del argot papelerero como “merma”.
- ARCHIVO: se conoce con este nombre al papel que proviene principalmente de los archivos muertos y de las oficinas.
- FAJILLA: en esta clasificación entran todas las fibras de color café, que podemos identificar en los empaques de cerveza y las cajas donde se expenden los productos a granel.
- BOLSA: es una de las fibras que poseen la mayor cantidad de celulosa, blanqueador óptico las cuales son muy benéficas para el proceso de papel, impactando directamente en la calidad final del mismo.

La producción de pulpa con fibras secundarias, implica la necesidad de volver a producirse con base en papeles y cartones de desperdicio. Los métodos aplicados son básicamente diferentes los principales son:

- 1) Un sistema puramente mecánico, en donde interviene el empleo de desbaratadores, cernidores y separadores centrífugos.
- 2) Una combinación de sistemas químicos y mecánicos, en la que los productos químicos se utilizan en la etapa de producción de pulpa para eliminar la tinta y otros contaminantes.

IV. LA SECCIÓN HÚMEDA FOURDRINIER Y EL SISTEMA DE PASTA

La fourdrinier es una máquina para la fabricación de papel, en este proceso se forma una bobina de una hoja continua sobre una superficie de formación horizontal o casi horizontal; las fibras refinadas y mezcladas, son almacenadas en el tanque de la máquina, en este tanque la pasta se agita para evitar el asentamiento y la separación de los sólidos.

La consistencia de la pasta en este tanque es del orden de 2 1/2 a 4 %, la pasta es elevada por una bomba desde este tanque hasta un regulador de consistencia y una caja de cabezal constante de donde pasa a través de una compuerta reguladora de flujo, al refinador de la máquina. Algunos de los detalles del equipo varían considerablemente de una máquina a otra, sin embargo su objetivo es el mismo, suministrar un flujo de pasta, de consistencia regulada, medido, controlado y constante a la máquina de papel.

Del refinador la pasta pasa hacia la entrada de la bomba de abanico de la máquina, en esta bomba la pasta se diluye a un rango de 0.1 a 1.05 con agua que se recircula de la fosa o tanque colector de agua blanca. La pasta diluida puede entonces limpiarse por medio de limpiadores de tipo vórtice (limpiadores centrífugos), seguidos por depuradores, la pasta limpia y depurada fluye entonces al sistema de distribución de entrada, que reparte el flujo a todo lo ancho de la máquina descargando la pasta dentro de la caja de entrada, en donde el flujo se estabiliza. Este flujo pasa por un orificio ajustable llamado regla, sobre una "tela" metálica móvil denominada "fourdrinier".

La "tela fourdrinier" es una banda sin fin de tela metálica, de tejido fino que viaja alrededor y entre dos grandes rodillos, el cilindro de pecho, que es sólido, en el extremo de la caja de entrada y el cilindro de retorno de la tela en el otro extremo. La tela está soportada sobre la sección formadora horizontal superior o mesa, por medio de una combinación de una o más cajas de formación estacionarias, rodillos desgotadores sólidos o ranurados, cuchillas de agua y deflectores, después de lo cual pasa por varias cajas de succión, en esta sección el agua se elimina por drenado, dejando a la hoja de papel sobre la superficie superior.

Los extremos de la hoja, por lo general pesan menos y contiene puntos débiles. El corte se hace por medio de cortes finos de agua, a alta presión.

Las funciones básicas que se tienen que efectuar en la sección húmeda o sección formadora de la hoja de papel son las siguientes:

1. Diluir la suspensión fibrosa que entra al sistema hasta una consistencia lo suficientemente baja para permitir un fácil movimiento relativo entre fibras y por consiguiente un alto grado de uniformidad en la dispersión de las fibras.
2. Distribuir la suspensión diluida de fibras uniforme y constantemente en la sección formadora, al mismo tiempo que mantener las fibras uniformemente dispersadas.
3. Depositar uniformemente las fibras individuales en la tela metálica formadora, conforme el agua de la suspensión drena a través de la tela.
4. Compactar la pared fibrosa, mientras esta en condiciones plásticas, para obtener un contacto íntimo entre fibra y fibra teniendo un acercamiento de la estructura porosa de la hoja.

5. Separar por succión la mayor cantidad posible de agua atrapada en la hoja, antes que esta pase a la sección de prensa húmeda. En muchas máquinas la hoja debe ser lo suficientemente fuerte para transferirse, sin soporte alguno, del cilindro de retorno y la resistencia de la hoja húmeda aumenta al disminuir el contenido de agua.

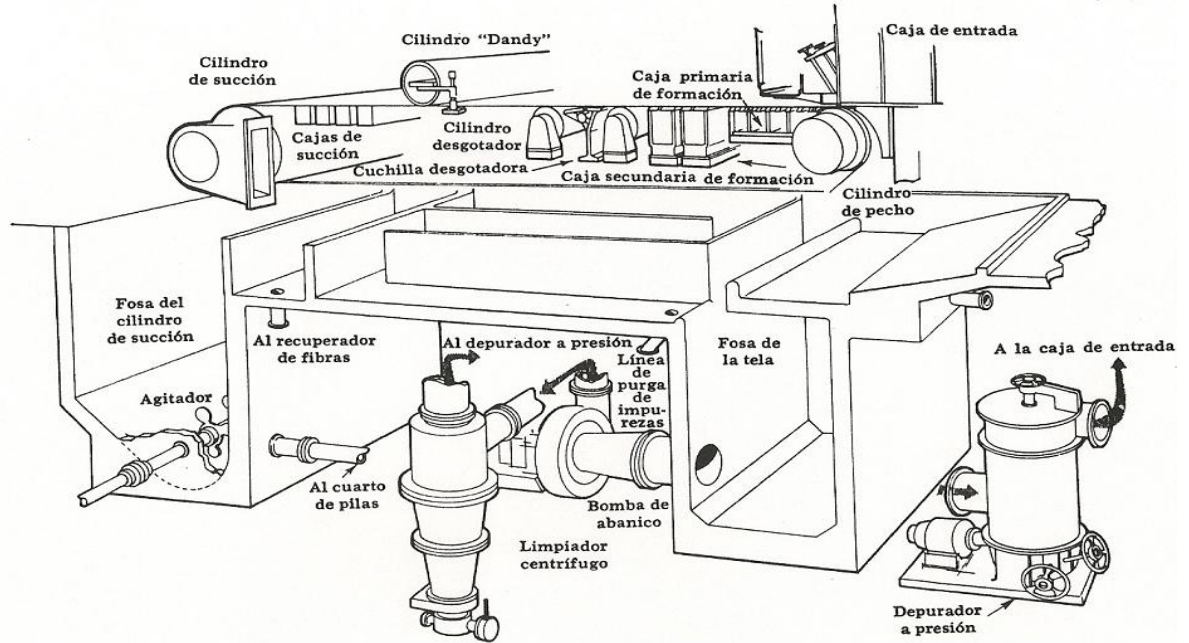


Fig. 2.3 Máquina Fourdrinier

Caja de entrada de tipo abierto.

Esta máquina consiste en una caja, alimentada en uno de sus extremos por medio de un distribuidor, que descarga en el otro extremo a través de una regla para controlar el flujo. Dentro de la caja se utilizan una variedad de deflectores, cilindros perforados y elementos curvados. El nivel de pasta en la caja se varía con la velocidad de la máquina para obtener la velocidad adecuada de salida en la regla, se ajustan simultáneamente, el flujo hacia la caja y la apertura de la regla hasta que el cabezal necesario produzca dicha velocidad. Fig. 2.4.

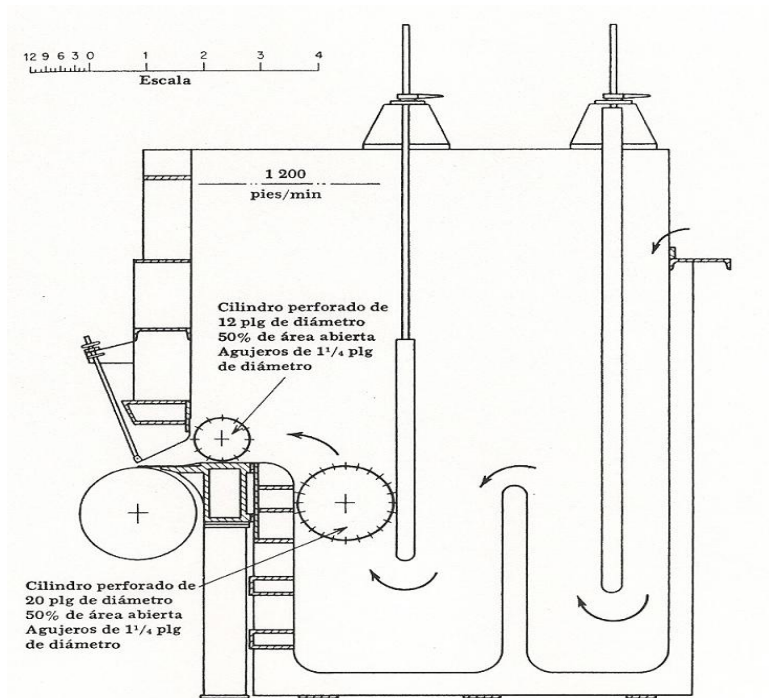


Fig. 2.4 Caja de entrada de tipo abierto.

La regla de la caja de entrada

Se denomina regla, al orificio por donde sale la pasta de la caja de entrada hacia la tela formadora, en la regla podemos citar cinco funciones:

- Sirve como orificio de medición para controlar la distribución de la pasta a todo lo ancho de la máquina. Sin embargo no controla el flujo total hacia la máquina, este controla la bomba de abanico y su respectiva válvula de control.
- Controla la velocidad de salida de la pasta hacia la tela.
- Controla la trayectoria del chorro de pasta sobre la tela.
- La regla junto con los alabes distribuidores o cilindros perforadores se utilizan para controlar la estabilidad del flujo.
- La geometría de la regla influye en la orientación de las fibras en el chorro de la misma.

Drenado y distribución sobre la máquina fourdrinier.

Cuando la suspensión va pasando sobre la mesa fourdrinier más del 95% del agua se drena a través de la tela, dejando del 60 al 100% de las fibras sobre la tela en forma de una red húmeda.

Las fibras que quedan sobre la tela se entrelazan unas con otras para formar una hoja continua de densidad casi uniforme.

El drenado de la fourdrinier se efectúa como resultado de gradientes de presión hidráulica, estos pueden producirse en cualquiera de estos cinco modos:

1. Presión hidrostática. Debido al peso de la suspensión sobre la tela.
2. Presión de inercia. Producida por el impacto, en el ángulo grande de chorro de la regla sobre la tela.
3. Fuerzas de succión hidrodinámica. Producida por el movimiento de la tela sobre los cilindros desgotadores.
4. Fuerzas de succión o vacío. Producidas por las cajas de succión por debajo de la tela.
5. Presión de los cilindros que giran sobre la superficie superior de la hoja.

Caja formadora

El chorro proveniente de la regla cae sobre la tela, donde esta soportada por la caja formadora. Este equipo es de gran importancia durante el proceso de formación de la hoja, la caja formadora tiene como función:

- A. Evitar la deflexión de la tela.
- B. Control de chorro proveniente de la regla.

Cilindro desgotador

Este cilindro tiene la función de drenar nuestra pasta, funciona por el contacto de la tela, en el instante que la tela y el rodillo se separan se produce una zona de baja presión, este vacío creado está en función de:

- a) el diámetro del rodillo
- b) la velocidad de la máquina de papel
- c) abertura de la tela
- d) refinación de la pasta.

Agua de elutriación del ciclón

Los rechazos de un ciclón centrifugo van acompañados de fibras útiles que causarían pérdidas económicas si son desechados, para optimizar el contenido de los rechazos se utiliza un sistema denominado elutriación. Este sistema está compuesto de un ciclón pequeño ubicado en el orificio

de rechazos, este ciclón se alimenta con agua a una presión determinada, la cual tiene por objeto formar una nueva separación, en donde las fibras útiles de los rechazos vuelven a formar parte del flujo secundario del ciclo principal recuperándose de esta manera.

V. PRENSADO

Después de la sección de formación de el papel, pasa hacia la sección de prensa y secadores para seguir perdiendo agua, la hoja que sale de la sección de la tela es una pared fibrosa parcialmente saturada que puede ser comprimida a un volumen que no es suficiente para contener toda el agua originalmente presente.

El límite al que se puede reducir el contenido de humedad, dependerá de que tanto se pueda comprimir la hoja. Puesto que el prensado es un procedimiento para la eliminación de agua mucho más económico que el secado, es una operación que se debe usar hasta su límite técnico y económico.

Descripción de los tipos de prensa.

La Fig. 2.5 muestra un esquema de una sección del proceso, como es la prensa de succión y una prensa plana.

Una prensa estándar consiste de dos cilindros, uno fijo y el otro móvil, acondicionado para ejercer presión sobre el primero. La carga total ejercida entre los cilindros es la suma del peso del cilindro superior y el peso de la carga adicional, la que actualmente, en la mayoría de los casos, se aplica mediante cilindros o diafragma, hidráulicos o neumáticos.

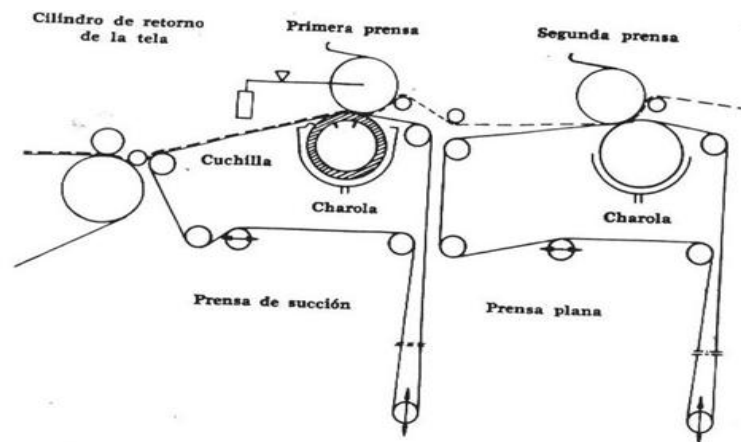


Fig. 2. 5 Sección de Prensas.

La presión lineal de contacto expresada normalmente en libras por pulgada lineal, es la carga total dividida entre la longitud de la zona de contacto. Las prensas húmedas de la máquina de papel, por lo general están provistas con fieltros.

La prensa puede consistir en dos cilindros sólidos (prensa plana) o, de un cilindro sólido y uno perforado con una caja de succión en su interior (prensa de succión). El cilindro sólido puede estar hecho de acero o de hierro fundido, recubierto con hule puro, o con un hule que contiene rellenos minerales, el cual se llama Microroc o Estonita. El cilindro de succión generalmente consta de un cuerpo de bronce o de acero inoxidable, recubierto con hule de una pulgada de grueso, aproximadamente. El cilindro normalmente está perforado con taladros de 3/16 a 5/32 plg. Y tiene un área abierta de 18 a 24%, es decir cerca de medio millón de taladros en un cilindro de succión normal.

Los cilindros están diseñados para presiones entre 100 y 500 lb/plg lin. En el interior del cilindro hay una caja de succión de 5 a 10 plg de ancho. Los vacíos normales son de 15 a 22 plg de Hg. La posición de la caja de succión se puede ajustar en relación con la zona de contacto. El cilindro de succión está rodeado por un recipiente para recoger el agua extraída de su interior. La operación de prensado se efectúa siempre en una serie de prensas, cuyo número y tipo dependerán de la calidad del papel que se va a fabricar.

VI. SECADO

El secado es el último paso dentro del proceso de papel, este es el más complejo y costoso, en el, ocurre la transferencia de calor del vapor de agua a la carcasa o pared del secador, pasando a la hoja de papel y también a la transferencia de masa, la humedad de la hoja, al aire del "pocket" y el paso final a la campana. El mecanismo de transferencia de calor en la sección de secado es una combinación de conducción convección y radiación.

Las etapas del secado de la hoja de papel se resumen de la siguiente forma:

1. La hoja de papel entra en contacto con el cilindro secador.
2. La hoja de papel es presionada por la lona, durante esta etapa la mayor parte de la energía es transmitida del secador a la hoja.
3. La hoja de papel continúa en contacto con el secador pero sin estar presionada por la lona.
4. En esta última etapa, la hoja de papel deja el cilindro secador y viaja hacia el siguiente cilindro siendo el área donde ocurre la mayor evaporación de la hoja.

El secado es diferente para los distintos tipos de papel, la transferencia de calor en las diferentes etapas de cada uno de ellos es muy compleja es por esto que en este trabajo no la mencionaremos porque nuestro objetivo es la de plantear un sistema de tratamiento de agua útil y eficaz para nuestro proceso, evitando al máximo el desperdicio y optimizar el consumo de agua, recuperándola para volver a utilizar el mayor número de veces en el proceso.

La fig. 2.6 muestra un diagrama de todo el proceso para la fabricación de papel, en él se aprecian los procesos antes mencionados como son la refinación, la “tela fourdrinier” las prensas de secado etc.

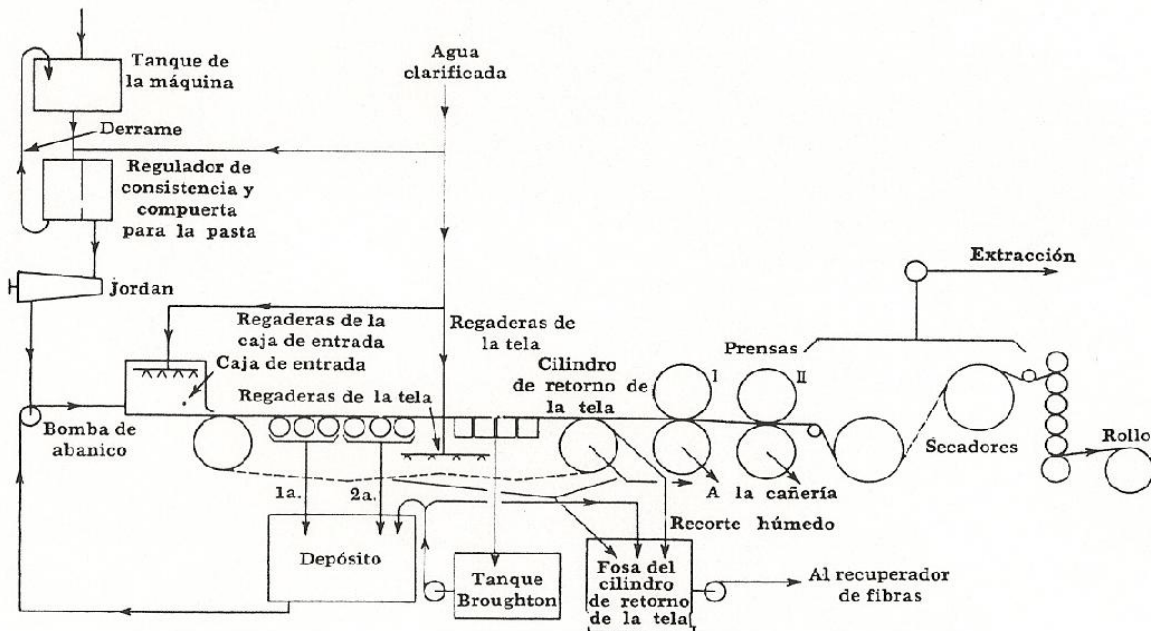


Fig 17 Diagrama simplificado de flujo de una máquina de papel.

VII. EL AGUA EN LA FABRICACION DE PAPEL

Como se mencionó la fabricación de papel con material secundario como materia prima, el principal empleo del agua lo abarca su uso como medio de dispersión (hidratación de la fibra) limpieza y trasporte de las fibras y de los aditivos, en las diferentes etapas de producción que como se ha visto anteriormente van desde el pulpeo hasta la formación, así como la utilización en la creación de vapor para el secado y como agente lubricante. En la Tabla 2.1 se resume el uso de agua en cada etapa del proceso de producción de papel; cabe señalar que el tipo de fibra utilizada como materia prima, el producto fabricado y la tecnología del proceso de producción son los factores que determinan el volumen total de agua consumida.

TABLA 2.1 Aplicación de agua en la producción de papel.

Usos	Función	Ejemplo:
Agua de proceso	Trasporte Dilución	Trasporte de fibras, aditivos, cargas, etc. Ajuste de la consistencia, preparación de aditivos.
Agua para rociadores y toberas	Mojado. Lubricante. Corte, desbarbe Limpieza. Dilución Enfriamiento. Antiespumante.	Mojado de la tela de formación. Rodillo de cabeza, de retorno de la tela, tensor, conductor, caja, etc. Recorte de los laterales de la banda de papel. Limpieza de la tela de formación de los rodillos, del fieltro. Caja de alimentación. Rodillo guía rodillo superior partes mecánicas. Células de flotación caja de alimentación.
Agua de refrigeración.	Enfriamiento.	Sistemas de bombas, sistema de accionamiento de máquinas, fluidos de lubricación, calandrado etc.
Agua de caldera	Producción de vapor	Cilindro secadores.
Agua de sellado	Sellado	Cajas de vacío, bombas etc.
Agua de limpieza.	Trasporte.	Limpieza de la máquina, depósitos tuberías.

VIII. CONTAMINACIÓN DEL AGUA DENTRO DEL PROCESO

El proceso de papel lleva a la contaminación del agua por los agentes químicos (aditivos) y la materia prima (fibras) vertidos en ella, los efectos más importantes de dicha contaminación son los siguientes.

— MATERIAS PRIMA

Es la mayor fuente de contaminación del agua y esta dependerá del tipo de fibra utilizada en el proceso de producción, el volumen de partículas de finos, el contenido de materia orgánica y la concentración de microorganismos.

La materia orgánica de la fibra secundaria que se encuentra disuelta, en forma coloidal depende del tipo de pulpeo, del sistema de lavado y blanqueo. Debido a los aditivos utilizados en su fabricación previa se presenta una mayor variación en la materia orgánica. La elevada concentración de microorganismos como consecuencia de la suciedad y la humedad del medio en que se almacena el papelote antes de su reutilización son otra fuente contaminante. Los almidones presentes en el papel reciclado son un medio de crecimiento para los microorganismos presentes.

En la fibra virgen, la principal fuente de contaminación orgánica la constituyen las materias extractivas, como por ejemplo, los ácidos resínicos y las ceras, así como las ligninas y sus derivados. Sin embargo, también pueden encontrarse contaminantes de residuos químicos utilizados en las etapas previas de pulpeo, lavado y/o blanqueo que originan compuestos contaminantes específicos como los organoclorados, las dioxinas, los diparabenzofenilos, etc.

– PRODUCTOS QUIMICOS

La contaminación del agua por estos aditivos es difícil de definir debido a la naturaleza y el grado de utilización en el proceso, los aditivos que afectan en mayor medida a la contaminación de las aguas de proceso son los siguientes:

- Almidones. Los almidones agregados en la parte húmeda son la fuente principal de nutrientes orgánicos para los microorganismos
- Cargas. Como son el caolín, carbonato cálcico, dióxido de titanio, talco, alúmina y silicatos.
- Agentes encolantes. Almidones, colofonias, AKD, ASA y emulsiones de ceras.
- Agentes mejoradores de la resistencia en húmedo. Urea-formaldehído, poliamidaepi-clorobidrina, acrilamida-glioxal, melamina-formaldehído.
- Agentes de des tintado: hidróxido sódico, silicato sódico, carbonato sódico, fosfatos de sodio y potasio, surfactantes no iónicos, disolventes, polímeros dispersantes, ácidos grasos, peróxidos, etc.

La fuente de contaminación se debe en parte por las interacciones de los productos químicos y las diversas impurezas en el agua donde son disueltas y la incompatibilidad entre los distintos aditivos, entre otros tenemos los siguientes:

- Formación de depósitos por reacción entre el alumbre y los compuestos responsables de la dureza del agua, con el consiguiente bloqueo de las líneas, los rociadores, las telas, los filtros, etc.
 - La presencia de microorganismos en el agua de preparación ocasionan problemas de slime (baba) en los sistemas de almacenamiento de los almidones.
 - La incompatibilidad de las resinas de tipo urea-formaldehído utilizadas para conferir mejores propiedades de resistencia en húmedo a los productos fabricados con aguas de carácter ácido, debido a su precipitación.
 - Los dímeros de alquiaceteno (AKD) utilizados como agentes encolantes, son incompatibles cuando se mezclan con aditivos fuertemente aniónicos.
 - Los agentes de encolado tipo colofonias, precipitan cuando se mezclan con aditivos altamente catiónicos.
 - Las emulsiones de ceras utilizadas como agentes de encolado poseen un elevado carácter aniónico y precipitan cuando se mezclan con aditivos catiónicos.
- (Julio Salomé, Gestión del agua en la industria papelera).

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA CONEXIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL.

1. Justificación.

EL presente trabajo describe el proceso que se llevó a cabo para la correcta instalación de los equipos para el tratamiento de agua, este proceso pretende un ahorro del 70% de agua, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Ventajas económicas. Menores costos del agua de alimentación, menores costes de tratamiento del agua de alimentación y del efluente, menores costes de operación, etc.
- Ventajas en el proceso. Condiciones de operación más estables, menores pérdidas de fibras, finos, cargas y aditivos.
- Ventajas medioambientales. Menor impacto sobre el medio ambiente debido a una menor necesidad de recursos naturales. Menor vertido de efluentes, ahorro de energía, etc. (Julio Salomé, “Gestión del agua en la industria papelera”)

En México la Ley de Aguas Nacionales es la encargada de la regulación de normas y derechos sobre las Aguas Nacionales. A continuación mencionaremos un fragmento de esta Ley que es de notable interés para el desarrollo de nuestra investigación y nuestro trabajo.

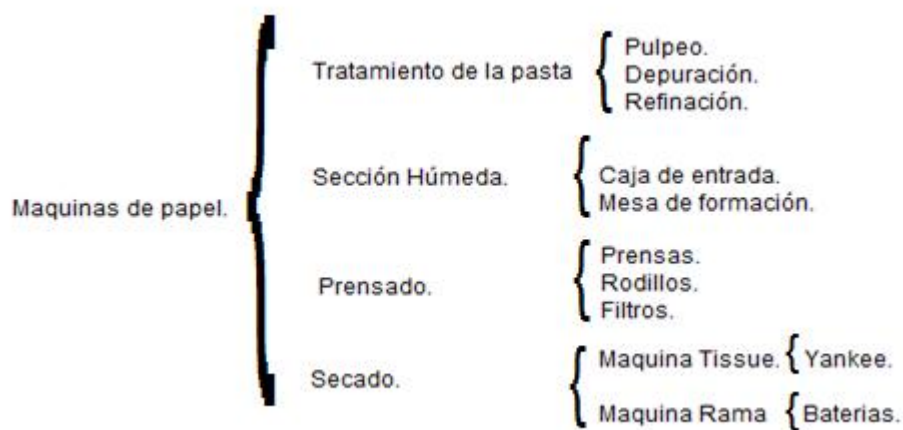
ARTÍCULO 29. Los concesionarios tendrán las siguientes obligaciones, en adición a las demás asentadas en el presente Título:

Fracción X. Cumplir con los requisitos de uso eficiente del agua y realizar su reúso en los términos de las Normas Oficiales Mexicanas o de las condiciones particulares que al efecto se emitan. (Ley de Aguas Nacionales, última reforma DOF 18-04-2008).

Debido a estas normas se hizo evidente la necesidad de implementar equipos de tratamiento de agua, la finalidad del trabajo es describir el desarrollo ingenieril que se efectuó para la instalación de estos equipos dentro del proceso de la elaboración de papel.

2. Caso de estudio y consumo total de agua en la planta.

A continuación se describirá las características de la planta: la planta CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V (Convertipap). Ubicada en carretera Picacho Ajusto # 130, Municipio de Ixtapaluca, Estado de México y contando con otra sucursal en el estado Tlaxcala, cuenta con los productos de Papel Bond, toallas de papel, papel de seda, servilleta de papel entre otros, esta empresa fue establecida en el año 2000 y cuenta con tres líneas de producción, de las cuales dos se encuentran en la planta del Estado de México, con una producción aproximada de 2500 toneladas de papel por mes.



Una de las máquinas que se habían mencionado y habíamos denominado en este trabajo es la máquina No. 1 es la llamada Tissue. Esta máquina es mucho más rápida que los formadores convencionales de tela abierta y producen una hoja de papel tissue que tiene una baja densidad, característica por haber sido hechas con un peso base y una pasta de drenado rápido. El papel Tissue comprende lo que es el papel higiénico, facial, servilletas y toallas. En esta máquina el proceso de secado se realiza con la máquina llamada Yankee, puede estar equipada con un rodillo separador sólido o con una zapata separadora, sencilla o de succión.

La máquina No. 2 es para la producción de papeles planos, en esta máquina los fieltros separadores deben estar lo bastante abiertos para resistir las cargas, el acabado debe tomarse también en cuenta, y los fieltros en la segunda y tercera etapa deben tener más velo para una distribución uniforme de la presión evitando el traspaso. Este papel comprende cartulinas, cartoncillo y de grado alimenticio.

Nuestro trabajo comprende en la instalación de los equipos de tratamiento de agua dentro del proceso de elaboración del papel en la planta CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. La planta cuenta con dos máquinas de papel, las cuales consumen un total de agua de 815.35 L/min o 1174.10 m³ al día. El agua es tirada al drenaje sin ningún tratamiento para separar las fibras que son utilizadas en la fabricación. Los tratamientos que se llevaran a cabo solo comprenden una separación mecánica de la fibra de papel, contenida en el agua que es recolectada en los diferentes puntos del proceso y será re circulada al proceso para el ahorro de la misma.

Las siguientes tablas corresponden al consumo de agua que se tiene en cada punto del proceso de las máquinas 1 y 2.

Tabla 3.1 Consumo total de agua en la máquina No. 1

REGADERA	Flujo por boquilla (L/min)	Número de boquillas	Flujo total (L/min)
Alta presión en tela	1.8	37	66.6
Spray yankee			13
Filtro superior	0.7	10	7
Filtro inferior	0.7	10	7
Mata espuma en caja de flujo	2.6	11	28.6
De alta presión en recuperador de pasta	6	35	210
De baja presión en recuperador de pasta	2	24	48
Purga de oscilante de regadera de alta presión en la tela.			3.7

Sellos	Sellos	Sellos	Sellos
Localización	Flujo por sello (L/min)	Número de sellos	Flujo total (L/min)
Refinador # 1	3.7	2	7.4
Refinador cabeza.	3.7	2	7.4
Caja de flujo.	3.7	4	14.8
Depurador	3.7	1	3.7
Bomba fan.	3.7	2	7.4
Bomba fosa.	3.7	1	3.7
Prensa de succión.		2	
consumo		total	428.3

Continuación Tabla 3.1

Tabla 3.2 Consumo total de agua de la máquina No. 2

REGADERAS	Flujo por boquilla (L/min)	Número de boquillas	Flujo total (L/min)
Alta presión en tela	1.80	27	48.6
Filtro superior	0.7	21	14.4
Filtro inferior	0.7	21	14.7
De alta presión en recuperador de pasta	6	16	96
Purga de oscilante de regadera de alta presión en la tela.			4.8

SELLOS	sellos	sellos	Sellos
Localización	Flujo por sello (L/min)	Número de sellos	Flujo total (L/min)
Refinador	3.7	6	22.2
Depurador	3.7	1	3.7
Bomba fan.	3.7	2	7.4
Bomba fosa.	3.7	1	3.7
Prensa de pick up	15	2	30
Segunda prensa	15	2	30
Centricleaners terciarios			40
Agua para agente de retención.			40
Consumo		total	355.8

Continuación Tabla 3.2

El consumo de agua fresca en caldera es de 15 m³ por turno, es decir se consumen 31.25 L/min.

Se tiene que sumando los flujos anteriores el consumo total de agua dentro de nuestro proceso es de 815.35 L/min. ó 1174.10 m³ al día.

3. Descripción técnica de los equipos para tratamiento de agua (Meri).

Los equipos de tratamiento de agua, se eligieron entre otros, por sus características para desempeñar de la manera más eficiente la separación del papel del agua, dentro de todo nuestro proceso, estos siguen las operaciones unitarias tales como la floculación y la filtración.

A continuación se describen los equipos utilizados en el proceso para el tratamiento de agua, características principales y datos técnicos del manual de operación.

I. 1 x Quadrafloat 4x4

El primer equipo que se utilizara para el tratamiento de agua es el denominado Quadrafloat 4X4, este basa su operación en el proceso físico-químico de flotación por aire disuelto, para separar sólidos del líquido por medio de la flotación. La floculación con productos químicos adecuados, aglomera los sólidos suspendidos en flóculos, lo que los vuelve accesibles para ser separados del

agua más fácilmente. Las micro-burbujas de aire hacen flotar la materia sólida, estas burbujas se generan debido a la liberación a una alta presión de aire súper-saturado en el agua, que a su vez es generado por el Sistema Universal de Disolución (UDS por sus siglas en Inglés), donde el aire es disuelto en el agua a una gran presión.

El Quadrafloat 4x4 es una unidad provista con una superficie abierta rectangular, la alimentación está localizada en dos de las esquinas del tanque. El agua alimentada es gradualmente distribuida de manera radial a través de todo el tanque cuadrado, por lo tanto toma ventaja de las propiedades del flujo de entrada, y tiene una reducción en la velocidad del flujo hacia la salida. El agua clarificada es descargada en el eje diagonal del Quadrafloat 4x4. El lodo que flota hacia la superficie es recolectado por dos palas y descargado vía un canal inclinado, un raspador en el fondo remueve toda la materia que haya sido sedimentada hacia la trampa, la cual es drenada a intervalos regulares.

Todas las partes susceptibles de contacto con el agua están hechas en acero inoxidable y son provistas de manera estándar como se estipula en AISI 304 (1.4301) o equivalente. Las partes descritas son: fondo del tanque, paredes laterales, tubo recolector de agua clarificada, sistema de distribución del flujo de entrada y sistema de descarga de lodos. Anexo 2

Tabla 3.3 Especificación del proceso.

Aplicación de 1x Quadrafloat 4x4	Clarificación del agua.
Descripción de la entrada	Agua de proceso de M1 y M2
Flujo de entrada	32 m ³ /h para M1 - 22 m ³ /h para M2
Consistencia de entrada	Hasta 2000 ppm

Tabla 3.4 Dimensiones del Quadrafloat 4x4.

Descripción	Tamaño/ Datos
Mín. Longitud de instalación	4520 mm
Mín. Altura de instalación	2000 mm
Superficie de flotación	12 m ²

Sistema Universal de Disolución (UDS).

Tabla 3.5 Especificación del proceso.

Aplicación del Sistema de Disolución Universal 30	
Producción del sistema UDS	14m ³ /h
Presión de operación	6 bar
Cantidad de aire necesaria	1.5 Nm ³ /h
Mín. presión de aire necesaria	7 bar

Tabla 3.6 Datos Sistema de disolución universal 30

Máx. altura	3002 mm
Diámetro del vaso.	569 mm
Peso de operación	320 kg

Todos los elementos que entran en contacto con el agua son hechos de acero inoxidable AISI 304. El vaso de presión es fabricado de acuerdo con los reglamentos alemanes TÜV o de la American Society of Mechanical Engineers (ASME).

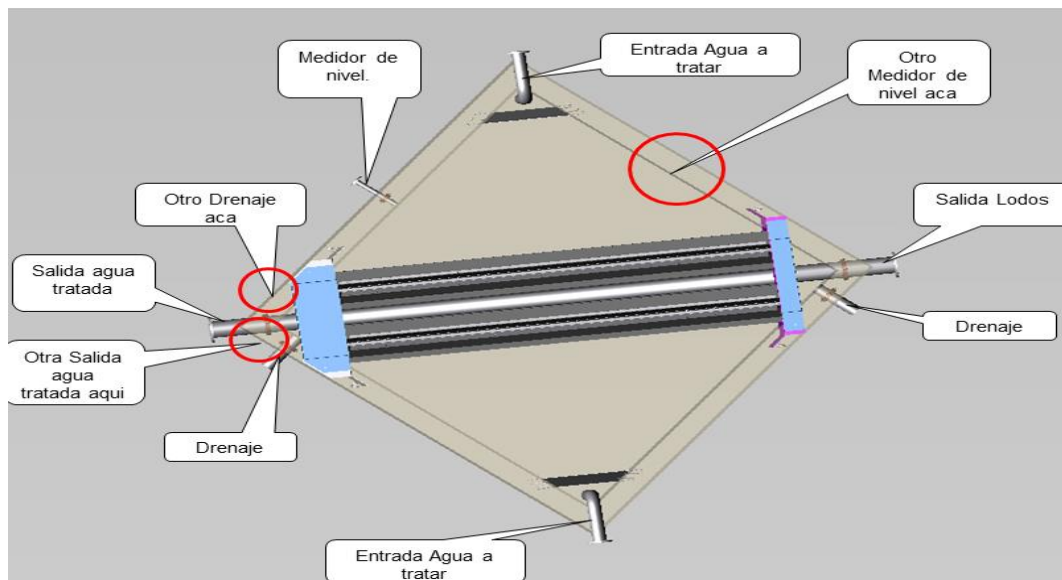


Fig. 3.1 Quadrafloat 4x4

II. GYROSAND FILTER

Después de que el agua es tratada en el Quadrafloat 4x4 pasa a la siguiente fase del proceso de tratamiento, ya sea hacia el GyroSand o el Conustrenner, los cuales se describen a continuación.

El equipo GyroSand (Anexo 3) es un módulo de filtro de arena con una dirección de filtración ascendente y un enjuague continuo de la arena del filtro en una cedula de flotación. Debido al hecho que el filtro no tiene piezas móviles, no requiere mantenimiento y tiene una disponibilidad muy alta. El filtro se emplea en la purificación de agua potable y agua fresca, para lavado de agua de proceso y agua residual en la industria para la purificación final del albañal doméstico.

El filtro GyroSand presenta las siguientes características notables:

- Filtro de arena.
- Alta eficiencia, buen desempeño de enjuague, reducido espacio necesario, bajo consumo de energía.
- Construcción nominal con tamaños patrón siendo posible un montaje inmediato.
- Acero de alta calidad, sin piezas móviles exento de mantenimiento.

Principios de acción.

El lecho del filtro está ubicado en un contenedor de acero de alta calidad, que se afila hacia abajo de forma cónica de esta manera, el agua no tratada al ser purificada es alimentada en la sección inferior del filtro de arena y es distribuida uniformemente por medio de una construcción de distribución en el nivel más bajo del lecho de arena, y fluye hacia la parte de arriba a través del lecho de arena. El agua clara se acumula arriba del lecho de arena, escurriendo en un canal de descarga dispuesto tangencialmente, mientras los sólidos son retenidos en el lecho de arena.

La arena y los sólidos, flóculos, etc. que han sido removidos por filtración, son reunidos en el piso del filtro cónico, donde está colocado el tubo curvado, que desemboca en un tubo vertical ascendente. Aquí la arena es continuamente descargada y transportada por medio de un elevador de aire (bomba mammut), a la cedula de lavado ubicada en la parte de arriba del lecho de arena. Aquí es enjuagada en contracorriente con el auxilio de flotación.

La cantidad de enjuague depende del volumen de aire insuflado. Este puede ser ajustado con una válvula de aguja, el volumen de aire puede ser consultado con un medidor de flujo. Todas las piezas del dispositivo de enjuague son exentas de mantenimiento, el dispositivo de enjuague se cierra con una válvula de bloqueo, siendo la alimentación de aire conectada mediante una válvula magnética.

La célula de flotación está ubicada en la sección superior del filtro, en la zona de agua clara. La célula es alimentada desde arriba con la arena que ha sido transportada hacia la parte superior a través del sistema de enjuague. En la sección inferior es posible introducir una mezcla de aire y agua a través de un distribuidor circular, que remueve las impurezas, flóculos, etc., de la arena en contracorriente. Entonces, la arena enjuagada cae de regreso sobre el lecho de arena, siendo el agua de lavado drenada con la suciedad removida por separado. El concentrado de enjuague escurre a través de la superficie de descarga ajustable.

Tabla 3.7 Especificación del proceso.

Aplicación de GyroSand GY 4	Preparación de aguas de regadera.
Descripción de la entrada	Agua clarificada del Quadrafloat.
Máx. tasa de flujo de alimentación	20-25 m ³ /h
Máx. Consistencia de alimentación	100 ppm (máx. 150 ppm)

Tabla 3.8 Ajustes técnicos de operación.

Cantidad por filtro.		2
Consumo máximo de aire.	Nm ³ /h	12
Presión del aire	Bar	1.5/3
Cantidad de aire necesaria.*	Nm ³ /h	
Presión de aire.	Bar	1.5/3

Tabla 3.9 DIMENSIONES Y PESO

Altura total	Mm	6850
Diámetro del filtro	Mm	2506
Superficie de filtración efectiva	m ²	5
Volúmenes de área	m ³	10
Peso total de operación.	Kg	32,370
Peso con rebosamiento.	Kg	32,400
Caudal	m ³ /h	40
Carga de alimentación.	Kg/h	4.16
Contenido de sólidos en la alimentación.	Ppm	100

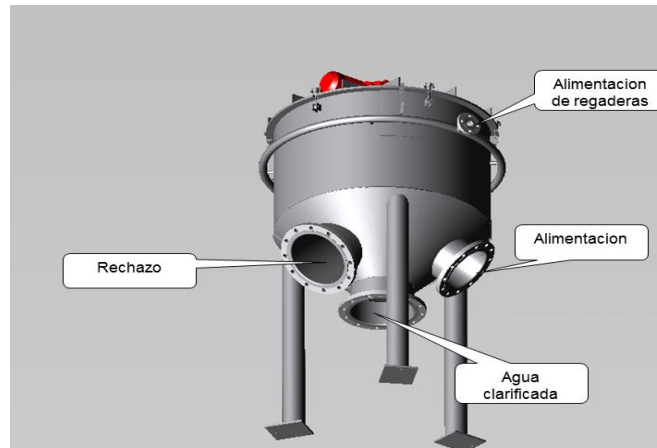


Fig. 3.2 Filtro Gyrosand.

Construcción

- Tanque con piernas. El cuerpo cilíndrico del filtro de arena es hecho en acero de alta calidad (AISI 304), y el cuerpo cónico es reforzado por chapas de apoyo. Cuatro piernas hechas de tubo de acero están soldadas en el mismo, cada uno de los cuales está equipado con una placa-soporte y un perno roscado, para un ajuste exacto de la posición de sostenimiento. El acabado de las piernas puede ser de acero de alta calidad o de acero normal, con dos manos de pintura en el fondo y una mano de tinta resina epoxi.
- Parte superior del filtro. La parte superior del filtro está equipada con una brida horizontal y barrenos roscados para recibir la célula de flotación de enjuague, que en esta posición se puede sostener.
- Construcción del distribuidor de alimentación. La construcción del distribuidor de alimentación sirve para suministrar el agua no tratada proporcionalmente sobre la superficie, de la sección interior del lecho de arena.
- Tubo vertical. Exteriormente al tubo de alimentación, está instalado el tubo vertical con un cilindro vertical Perspex, para leer la presión de alimentación y por consiguiente para monitorear el funcionamiento del filtro.
- Curva de tubo con válvula de bloqueo, de bola de drenaje. Una curva de tubo de 180°, con una salida cónica, esta se encuentra soldada en el ápice interior del cono. Un tuerca, para recibir el tubo vertical inyector, y un soporte de tubo, con válvulas de bloqueo de bola de drenaje, también están soldados en el mismo. La misma máquina viene equipada con un tamiz para drenaje del filtro.

III. Conustrenner.

El Conustrenner es un equipo diseñado exclusivamente para la separación de fibras, rechazos finos con contenido de fibra, lodo y filtrados en la industria papelera. (Diagrama en el anexo A-4)

El equipo Conustrenner no es recomendable.

- Para operar en temperaturas ambientales sobre 60°C y con filtrados que alcancen temperaturas superiores a los 80°C
- Para operar con valores de pH menores a 4.0 y mayores a 10.0 puntos.
- Para filtrados con características diferentes a las indicadas en los parámetros técnicos tecnológicos.

Tabla 3.10 **DATOS DE ACCIONAMIENTO.**

Accionamiento Canastilla Tamiz		
Fabricante		SEW Eurodrive
Tipo		SAF4DT71C4-TF
Tipo de construcción		M5A
Lubricante/cantidad de llenado	--/l	CLP 680/0.80
Potencia	kW	0.25
Voltaje	V	440
Corriente	A	0.66
Clase de protección/ Categoría de aislamiento		IP 55/F
Velocidad angular (60Hz)		
Relación de Reducción (total)	Rpm	201
Frecuencia	l	60
Nivel de Ruido	Hz	Menor a 75 dB (A)
Nivel de Ruido		Menor a 75 dB (A)

Tabla 3.11 **PLACA DE IDENTIFICACIÓN.**

Altura	Mm	1529
Diámetro	Mm	880
Tamaño de la malla	µm	60
Peso de operación	Kg	450

DATOS DE OPERACIÓN

Tabla 3.12 Datos de proceso.

Rango de operación de presión	Bar	0.8-1.2
Presión nominal de operación	Bar	1.0
Alimentación en operación	l/min	700
Presión requerida en rajaderas	Bar	3
Flujo de masa en alimentación	Kg/h	4.16

COMPONENTES PRINCIPALES.

El tanque está compuesto por el recipiente principal, las piernas soporte con las placas base y los conos internos. El cono principal interno corresponde a la alimentación del equipo y el cono de la fracción gruesa que es por donde los sólidos atrapados por la malla tamiz son descargados por gravedad.

La Canastilla Tamiz se compone de una malla de acero soldada a dos perfiles tubulares, el de la parte inferior aísla los flujos de tracción fina y gruesa. La abertura de la malla varía entre 40 y 300 μm dependiendo de la aplicación seleccionada

Cono de alimentación. El filtrado es rociado sobre la canastilla tamiz a través de las boquillas de alimentación que se encuentran en la parte fina del cono de alimentación, al centro del Conustrenner. El cono de alimentación esta llenado en la parte superior y tiene una ventanilla de inspección.

Sistema de limpieza. Las boquillas de regadera, se encuentran instaladas entre la canastilla tamiz y la parte inferior del tanque principal. La distribución de agua de las regaderas se realiza a través de un anillo de tubo circunferencial. El agua de las regaderas es rociada a contra flujo sobre la canastilla tamiz, de esta manera se garantiza una limpieza constante de materia estratificada en la malla que se descarga a través del cono de la fracción gruesa.

Principio de operación.

El equipo CONUSTRENNER abarca aplicaciones como:

- Control de cenizas
- Separación de fibras
- Reducción de contaminantes y material residual
- Minimización de pérdidas

- Reducción de consumo de agua.
- Recuperación de fibra.

El filtrado a tratar, es rociado por un arreglo de boquillas horizontales sobre la parte interna de la canastilla tamiz, esta canastilla tiene un movimiento de rotación. (La presión del filtrado es de 1 bar).

Para prevenir estratificación o acumulación de materia, la canastilla tamiz es depurada continuamente desde la parte exterior por unas boquillas del sistema de regaderas. La fracción gruesa se acumula en la parte inferior de la canastilla, mientras que la fracción fina se colecta y se descarga en la parte exterior de la canastilla tamiz.

4. Equipo utilizado en nuestro proceso.

Tubería y accesorios en la estación de bombeo.

Para cumplir con las condiciones de bombeo del tanque hacia los equipos de tratamiento de agua, como también a los cuatro tanques de concreto situados debajo de estos equipos, se realizara la instalación de equipos y componentes mecánicos.

La tubería que se empleará en las estaciones de bombeo es de acero inoxidable soldable 304 SS cedula 10, los accesorios de conexión tales como, codos de 90°, codos de 45°, reductores y válvulas serán del mismo material que las tuberías.

La tubería de succión de las bombas (eje horizontal), se instalará con pendiente ligeramente ascendente hacia la bomba en las tuberías de gravedad la pendiente debe ser descendente.

Bombas

Se consideran 15 bombas centrifugas horizontales de impulsor abierto, la carga dinámica comprende desde los 10 hasta los 91 m y velocidades desde 1750 a 3560 R.P.M. Las bombas serán acondicionadas por medio de motores eléctricos horizontales de inducción tipo jaula de ardilla, alta eficiencia que será desde los de 1 H.P hasta los 30 H.P., 230/460 volts, 60 Hertz, 3 fases, diseño de Nema B, aislamiento clase F. La descripción de cada una de estas bombas se puede consultar en el Anexo número 6.

Bombas horizontales

Estos equipos que generalmente se construyen de tamaño grande, la caja de la bomba está dividida en dos partes, según un plano horizontal que pasa por el eje de la misma. Tienen la conexión de la succión y de la descarga embridada y dispuestas lateralmente a cada lado de la máquina una frente a la otra. Pueden tener dos o más impulsores pero por lo general tienen sólo uno de gran tamaño y de doble entrada, lo que obliga a bifurcar tanto la conexión de la succión como la descarga. Las dos partes en que se divide la caja de esta bomba se unen con

empaquetaduras y pernos. El impulsor gira sobre un eje cuyos extremos están apoyados en braquetes laterales dotados de cojinetes.

Protección

Como se puede observar en los planos a lo largo de las líneas de tuberías, existen equipos de seguridad para evitar problemas y deterioro de los equipos de bombeo tales como:

- Bajo nivel de agua. Los equipos de bombeo no deben operar ni permitir su arranque si el nivel del agua en el tanque se encuentra igual o menor a los niveles permitidos, protegiendo así a las bombas del fenómeno de cavitación, es por ello que se instalan electro niveles en el arrancador del motor de la bomba para que en caso de censar niveles bajos de agua en los tanques, mande la señal de paro a los motores.
- Sistema de alivio de presión. Consiste en las válvulas de alivio de presión conectada al múltiple de descarga. Estos elementos son muy necesarios para evitar alteraciones en los equipos mecánicos y en las tuberías debido a los transitorios hidráulicos ocasionados por paros voluntarios o no voluntarios de las bombas. Para esta función se seleccionaron válvulas de Globo y se instalara, entre la salida de la bomba y la válvula check.

Al considerar líneas largas de descarga, se requieren válvulas en la tubería. Normalmente se usan tanto una válvula de compuerta como una de retención. La válvula de retención acciona para evitar el flujo inverso, mientras que la válvula de compuerta funciona cuando la unidad está fuera de servicio durante un periodo de tiempo largo como se muestra en la Figura 3.3. En algunas instalaciones, se omite la válvula de compuerta y se usan tablonetes de cierre o válvulas de esclusa. Una válvula de cono que trabaja como de retención y de compuerta aparece en otras instalaciones.

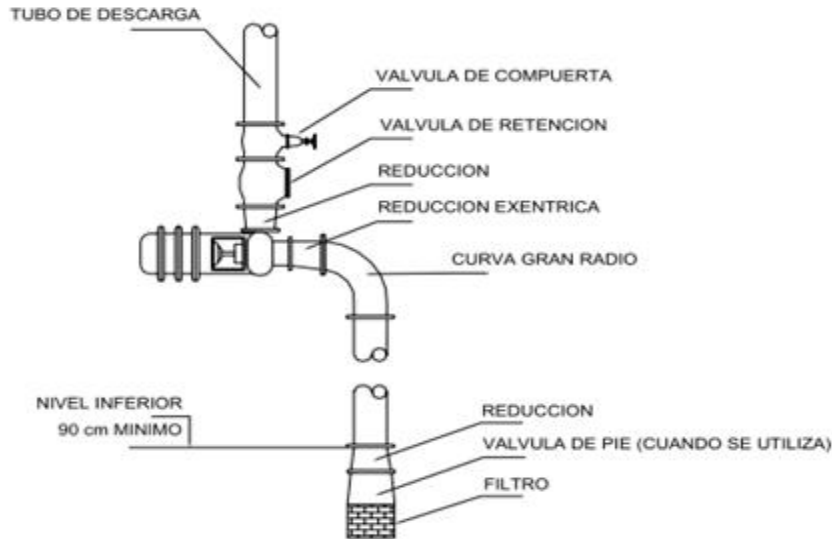


Fig. 3.3 Conexión de Tubería de succión de una bomba centrífuga de eje horizontal.

Información general

Para el diseño de toda la línea de conducción se requirió un plano topográfico donde se muestra la planta con sus respectivas elevaciones. Se definió una serie de alternativas basándose en aspectos económicos y de funcionamiento hidráulico (estructuras necesarias para la operación y mantenimiento hidráulico).

5. Descripción del proceso.

El proceso para nuestra planta es delimitado por las máquinas de papel, en nuestro caso son dos, las cuales manejan diferentes tipos agua debido a la versatilidad con la que cuentan para poder fabricar diferentes tipos de papel.

Como punto de referencia, como ya se menciona, nombramos a la máquina No. 1 y máquina No. 2, teniendo en cuenta lo presentado en el capítulo número dos. Iniciaremos con la máquina No. 1 tenemos: que el tanque de agua de fabricación (o tanque colchón) es el origen, el cual tiene una capacidad de 204 m^3 , el agua que se almacena en este tanque es utilizado dentro del proceso de la elaboración del papel por lo cual tiene sólidos suspendidos con una concentración mayor a 2000 ppm. Esta agua proveniente del tanque colchón será sometida a un tratamiento químico para la eliminación de sólidos suspendidos por medio de un coagulante (Clarifloc 210), a una concentración de 50 a 100 ppm y un floculante (SQ-673) con una concentración de 10 a 20 ppm, los puntos de aplicación serán los que el proveedor de los químicos indique, ya que de esto dependerá la correcta separación.

Este flujo de agua será transportada por una bomba centrífuga identificada como P-1110, teniendo como punto de descarga la mitad del Quadrafloat. Las micro-burbujas de aire hacen flotar la materia sólida, estas burbujas se generan debido a la liberación a una alta presión de aire súper-saturado en el agua, que a su vez es generado por el Sistema Universal de Disolución (UDS) y las bombas (P1533 y P-2533), donde el aire es disuelto en el agua a una gran presión.

El agua alimentada es gradualmente distribuida de manera radial a través de todo el tanque cuadrado, por lo tanto toma ventaja de las propiedades del flujo de entrada, y tiene una reducción en la velocidad del flujo hacia la salida. El agua clarificada es descargada en el eje diagonal del Quadrafloat. El lodo que flota hacia la superficie es recolectado por dos palas y descargado vía un canal inclinado, un raspador en el fondo remueve toda la materia que haya sido sedimentada hacia la trampa, la cual es drenada a intervalos regulares. De esta manera los lodos serán descargados vía gravedad a un tanque destinado para estos el cual posee un volumen de 5m^3 , para que posteriormente sean transportados con la bomba P-1003 un cono para su posterior laminación.

El agua tratada que sale del proceso de flotación tendrá una calidad de 50 ppm, se almacenara en un tanque de concreto con un capacidad de 65 m^3 (Tanque No. 1), para que así sea transportado por medio de una bomba centrífuga identificado como P-1251, hacia un filtro de arena Gyrosand 5.

Para la operación de este equipo se utilizan dos tipos de agua, tratada y fresca (o filtrada). El agua fresca (o filtrada) será únicamente para la limpieza de la arena y el agua tratada usará como medio filtrante la arena que está contenida dentro del equipo para dar como resultado agua filtrada con una calidad $< 5\text{ ppm}$ que estará siendo descargada en el Tanque No. 3 y a su vez la bomba P-5003 estará suministrando agua filtrada del tanque antes mencionado a nuestro proceso hacia la Máquina No. 1.

El lecho del filtro está ubicado en un contenedor de acero de alta calidad, que se afila hacia abajo de forma cónica de esta manera, el agua no tratada a ser purificada es alimentada en la sección inferior del filtro de arena y es distribuida uniformemente por medio de una construcción de distribución en el nivel más bajo del lecho de arena, y fluye hacia arriba a través del lecho de arena. El agua clara se acumula arriba del lecho de arena, escurriendo en un canal de descarga dispuesto tangencialmente, mientras los sólidos son retenidos en el lecho de arena.

La arena y otros sólidos flóculos, que han sido removidos por filtración son reunidos en el piso del filtro cónico, donde está colocado el tubo curvado que desemboca en un tubo vertical ascendiente. Aquí la arena es continuamente descargada y transportada por medio de un elevador de aire a la cedula de lavado ubicada arriba del lecho de arena. Aquí es enjuagada en contracorriente con el auxilio de flotación.

De manera similar ocurre en la máquina No. 2, pero tiene diferencias bastante notables siendo las siguientes:

- Así como en la máquina No. 1 tenemos un tanque de agua de fabricación (colchón), pero en este caso no alimentaremos al Quadrafloat directamente ya que habrá un cabezal donde se distribuirá el flujo de esta manera, 80% del flujo se tomara del tanque de fabricación y 20% del cárcamo.
- En el cárcamo se juntan diferentes tipos de aguas provenientes de nuestro proceso, el volumen que tiene es de 40m^3 , y el agua contenida en este tendrá más 200 ppm la cual llegará al Quadrafloat por medio de una bomba centrífuga identificada como P-2110 y se recabará dentro de la otra mitad del Quadrafloat, pero no sin antes olvidar el tratamiento previo con los productos químicos antes mencionados y sistema de aire que nos auxiliara en la flotación que se lleva a cabo en este equipo.

Las separación se dará de la misma manera que en la parte contraria del equipo pero el agua tratada llegara a otro tanque de concreto (Tanque No. 2), de la misma capacidad que los anteriores.

En la parte superior del Tanque No. 2 se instalara el filtro Conustrenner el cual se verá alimentado por una bomba centrífuga identificada como P-2251 abastecida por el tanque anterior (tanque No. 2).

El filtro Conustrenner es compuesto de tres conos en forma de embudo, uno dentro del otro. El agua tratada es suministrada dentro de una cesta-tamiz rotativa, a través de toberas instalas en el cono. La fracción gruesa es retenida y colectada en el cono medio para que después sea desalojada hacia el cárcamo, mientras la fracción fina que pasa a través de la tela es recolectada en el cono externo, el cual forma la carcasa del Conustrenner que será enviado vía gravedad al Tanque No. 4.

Una vez hecha la operación unitaria dentro del Conustrenner tendremos el agua filtrada, como resultado, esta se enviara al tanque de concreto No. 4 para que posteriormente sea distribuida por medio de una bomba centrífuga P-6003, para el suministro de agua de la máquina de papel No. 2, todo este proceso descrito se ilustra en el DFP propuesto por la industria Meri para los equipos Quadrafloat, Conustrenner, GyroSand (03/06/09) para la empresa CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V que se puede consultar en el Anexo No. 1.

6. Desarrollo del proyecto

Fabricación de los tanques y fijación de equipos Meri

El primer paso fue la fabricación de los tanques 1, 2, 3 y 4 estos tanques tienen una capacidad de 65 m³ con diferentes dimensiones de los cuales están fabricados de concreto, el dimensionamiento de los cimientos para la instalación de los equipos de tratamiento de agua estuvo a cargo de ingenieros civiles, tema que no abarcáremos en este trabajo.

Posicionamiento de bombas.

Después de la instalación de los equipos de tratamiento de agua se colocaron todas las bombas en sus lugares correspondientes teniendo una altura de 30 cm para inspección y mantenimiento. En el siguiente plano Fig. 3.4 se pueden observar las 15 bombas colocadas a lo largo del proceso.

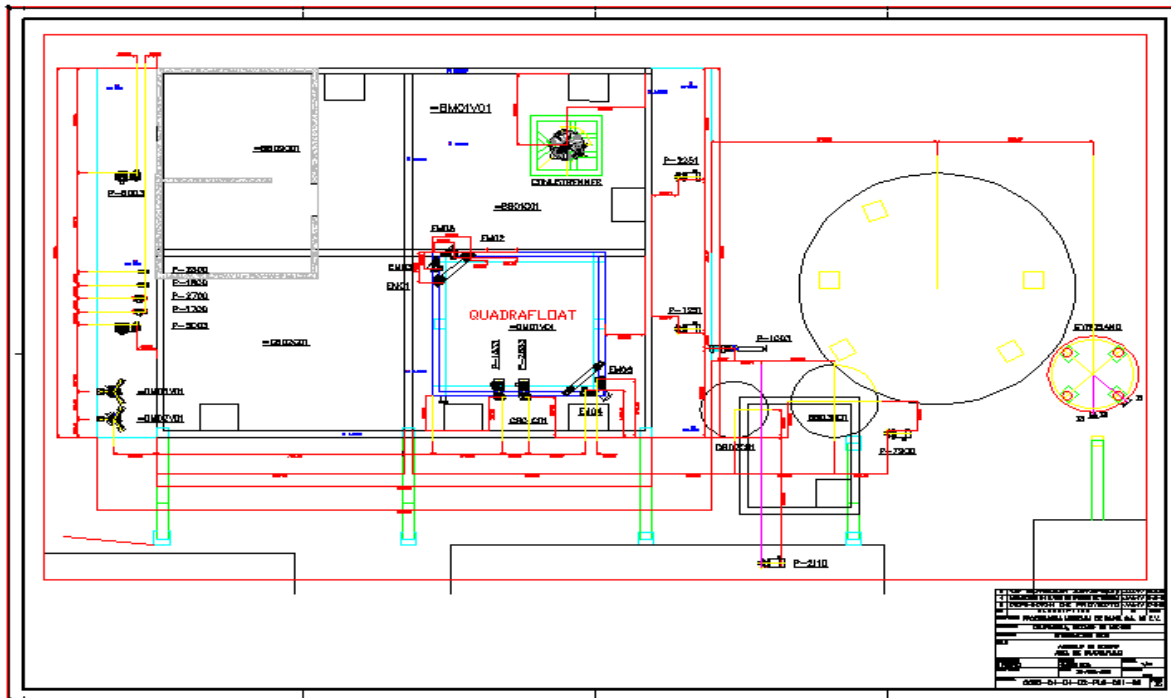


Fig. 3.4 Plano de todas las bombas a lo largo de la planta.

Tendido de tubería

El plano de la Fig. 3.5 nos ilustra toda la distribución de la planta CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V se aprecian las zonas del almacén eléctrico, calderas, los 4 tanques y toda la tubería que conecta dichos tanques con los equipos de tratamiento, la tabla 3.13 hace referencia de las principales bombas dentro del proceso.

Tabla 3.13 **Relación de las principales bombas.**

TAG	Q(l/Min)	Succión	Descarga	Tipo de fluido
P-1110	700	Tanque colchón	Quadrafloat máquina 1	Agua blanca (solidos , fibras)
P-1251	670	Tanque 1	GyroSand	Agua tratada
P-5003	670	Tanque 3	Proceso máquina 1	Agua filtrada
P-2110	700	Cárcamo	Quadrafloat máquina 2	Agua blanca (solidos , fibras)
P-2251	700	Tanque 2	Conustrenner	Agua tratada
P-6003	625	Tanque 4	Proceso máquina 2	Agua filtrada

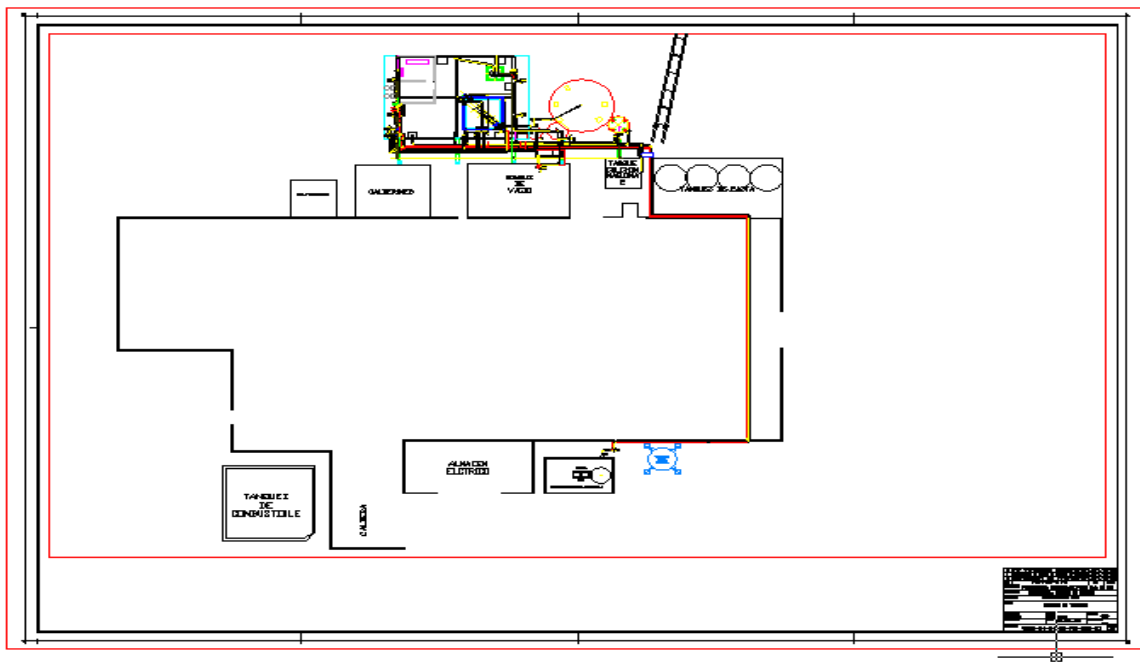


Fig. 3.5 Plano 2 Distribución de la planta.

7. Cálculo de las bombas centrífugas para parámetros propuestos.

El cálculo de las bombas y así mismo el de tuberías se efectuó con el programa de piperflowexpert este programa está diseñado para resolver problemas de pérdidas de caudal y presión a través de una red de tuberías determinado. El software permite dibujar un complejo sistema de tuberías y analizar las características del sistema cuando el flujo se está produciendo. Los resultados reportados también incluyen:

- Caudales
- Velocidades del fluido
- Números de Reynolds
- Factores de fricción
- Perdidas en los tubos
- Montaje de las pérdidas
- Componente de las pérdidas
- Bombas en los puntos de funcionamiento
- NPSHa en la entrada de la bomba
- Caídas de presión en las bombas.
- Presiones en los nodos
- Valores de HGL

La entrada y visualización de información del sistema, en el programa y en las tablas de resultados pueden ser mostrados en unidades métricas y unidades específicas para cada artículo, también se puede configurar y establecer de forma individual según las necesidades, además cuenta con base de datos de tuberías con materiales comunes y tamaños estándar. Este software está basado en las teorías principales de la dinámica de fluidos.

Este software establece los parámetros de la tubería y bombas basándose en las características del proceso tales como:

- El número de unidades, a lo largo de nuestro proceso.
- Horas de servicio de la bomba, además si es continuo o intermitente.
- Características del líquido.
 - a) Temperatura de trabajo, así como los posibles rangos de variación de la misma.
 - b) Gravedad específica. Esta debe ser indicada para la temperatura de bombeo y es vital para una correcta determinación de la potencia.
 - c) PH. La acidez o alcalinidad del agua, permite elegir el material adecuado de la bomba.
- Condiciones de operación.

- a) Cda. Permitirá seleccionar la bomba más eficiente.
- b) Altura manométrica total.
- Condiciones de succión. En las bombas de eje horizontal, se indica la altura manométrica total y el N.P.S.H disponible

Los resultados obtenidos en este análisis de las bombas con el programa piperflowexpert se encuentran citados en el Anexo No 5. El programa facilito el cálculo de la potencia las bombas propuestas por la industria Meri así también como la distribución de la tubería y accesorios (como son las válvulas, reductores entre otros), los planos finales para las tuberías hidráulica a lo largo de nuestro proceso se efectuaron en el programa de Auto CAD, teniendo en cuenta las especificaciones de nuestros equipos (dimensiones) y la distribución de la planta.

El uso de programas de ingeniería ayuda al ingeniero proyectista a llegar a resultados más precisos y ahorrar tiempo en el cálculo de los mismos. A continuación se tendrán los datos del cálculo de una bomba sin el uso del programa piperflowexpert, para corroborar los datos obtenidos por este.

Cálculo de la primera bomba (Bomba 1110)

Datos del proyecto. Bomba 1110 línea de Tanque colchón Máquina No. 1 Quadrafloat	
Fluido	Agua
Fuente de abastecimiento	Tanque colchón máquina No. 1
Tipo de bomba considerada	Centrifuga Horizontal
Gasto por bomba	700 l/min.
Niveles de bombeo del cárcamo	Máximo = 6.3 m Diseño = 5.85 m Mínimo = 0.6 m
Nivel máximo de conducción	7 m
Presión atmosférica a la altitud del proyecto	1.002 bar

Temperatura del agua a la altitud del proyecto	38° C
Diámetro de la columna de succión y tren de descarga Tubería No. 1	4" ANSI, cédula 10.
Longitud de la conducción	3 m
Accesorios en el tren de descarga	1 Válvula de cuchilla bridada 4" de diámetro 1 Válvula chekc bridada 4" de diámetro Codo de 90° de 4" de diámetro Reductor concéntrico 4" a 2"
Tubería 2 Diámetro de la tubería de conducción	2" ANSI, cédula 10
Longitud de la conducción	3 m
Accesorios en la línea de conducción	Medidor de flujo bridado de 2" Reductor concéntrico 4" a 2" Válvula de globo 2"
Tubería 3 Diámetro de la tubería de conducción	4" ANSI, cédula 10
Longitud de la conducción	100 m
Accesorios en la línea de conducción	9 Codos de 90° de 4" de diámetro Anillos inyectoros de químicos bridados de 4" Reductor concéntrico 4" a 5" Válvula de globo 4"
Diámetro de la tubería de descarga	2" ANSI, cédula 10

I. **Pérdidas de carga en tramos de tubería recta (h_{fp})**

Utilizando la ecuación de Manning:

$$h_{fp} = \frac{10.33n^2 Q^2 L}{D^{16/3}}$$

dónde:

n = Coeficiente de Manning que depende del material y estado de la tubería, adimensional.

Q = Caudal de bombeo [m^3/s].

L = Longitud de la tubería [m].

D = Diámetro interior del tubo [m].

h_{fp} = Pérdidas de carga [m].

a) Para la columna de succión de acero inoxidable de 4" (diámetro exterior de 114.3 mm espesor de 3.048 mm, ver anexo A-6)

Para determinar el diámetro interior:

$$D = (D_{ext} - 2e)$$

$$D = (114.3\text{mm} - 2(3.048)) = 108.2 \text{ mm} \approx 0.108\text{m}$$

n= 0.012, (ver anexo A-7)

Q = 700 l/ min. = 0.0116 m^3/s

L= 3 m

$$h_{fp} = \frac{10.3 \times 0.012^2 \times 2 \times 0.0116^2 \times (3)}{0.108^{16/3}} = 0.0858\text{m}$$

b) Para la tubería de control de flujo de acero inoxidable de 2" (diámetro exterior de 60.325 mm, espesor de 2.768 mm, ver anexo A-6)

Para determinar el diámetro interior:

$$D = (D_{\text{ext}} - 2e)$$

$$D = 60.325\text{mm} - 2(2.768) = 54.789\text{mm} \approx 0.054\text{m}$$

$n = 0.012$ (ver anexo A-7)

$$Q = 0.0116 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$h_{fp} = \frac{10.33 \times 0.012^2 \times 0.116^2 \times 3}{0.054^{16/3}} = 3.46\text{m}$$

c) Para la tubería recta de acero inoxidable 4" (diámetro exterior de 114.3mm, espesor de 3.048 mm, ver anexo A-6)

Para determinar el diámetro interior:

$$D = (D_{\text{ext}} - 2e)$$

$$D = 114.3\text{mm} - 2(3.048) = 108.2 \text{ mm} \approx 0.108\text{m}$$

$n = 0.012$ (ver anexo A-7)

$$Q = 0.0116 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$h_{fp} = \frac{10.33 \times 0.012^2 \times 0.0116^2 \times 100}{0.1089^{16/3}} = 2.736$$

Pérdida total en tramo de tubería recta

$$h_{tp} = 0.0858\text{m} + 3.46\text{m} + 2.736 = 6.281\text{m}$$

Pérdidas en piezas especiales (fontanería).

La magnitud de las pérdidas producidas por muchos tipos de válvulas y accesorios es directamente proporcional a la velocidad del fluido, en forma matemática.

$$h_{fs} = K \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido [m/s].

g = Aceleración de la gravedad [9.81 m/s²].

h_{fs} = Pérdida de presión en piezas especiales [m].

K = Coeficiente de pérdidas en accesorios, adimensional.

a) Piezas especiales en la conducción

De acuerdo a la instalación mecánica planteada, a continuación se listan las piezas especiales en la fontanería de la tubería de conducción hacia el Quadrafloat con sus respectivos factores de pérdida hidráulica (Véase anexo 8 para el codo de 90° 4" y anexo 9 para las válvulas y reductores).

Accesorio	k	Cantidad	Total.
Codo a 90° de 4" de diámetro	0.51	1	0.51
Válvula de cuchilla bridada 4"	0.14	1	0.14
Válvula check bridada 4"	2.0	1	2.0
Reductor concéntrico 4" a 2"	0.35	1	0.35
TOTAL			3.00

Para el tubo de 4" (diámetro interior de 108.2 mm Q=0.0116 m³/s). De la ecuación de la continuidad obtenemos el valor de la velocidad de flujo.

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

Para determinar el área.

$$A = \frac{\pi(D_{int})^2}{4}$$

$$A = \pi \times \frac{0.108^2}{4} = 0.0091 m^2$$

$$V = \frac{0.0116}{0.0091} = \frac{1.27 m}{s}$$

$$h_{fs} = \frac{3 \times 1.27^2}{2 \times 9.81} = 0.246 m$$

b) Piezas especiales para el control de flujo en la tubería recta (ver anexo A-9)

Accesorio	k	Cantidad	Total
Reductor concéntrico 4" a 2"	0.35	1	0.35
Válvula de globo 2"	6.5	1	6.5
Total			6.85

Para el diámetro de 2" (diámetro interior 54.789 mm Q = 0.0116 m³/s). De la ecuación de la continuidad se obtuvo el valor de la velocidad de flujo.

Para determinar el diámetro interior:

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

Para determinar el área

$$A = \frac{\pi(D_{int})^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.054^2}{4} = 0.0022 m^2$$

$$V = \frac{.0116}{0.0022} = 5.27 m/s$$

$$hfs = \frac{6.85 \times 5.27^2}{2 \times 9.81} = 9.60m$$

c) Para la tubería recta de acero inoxidable 4"

De acuerdo a la instalación mecánica planteada, a continuación se listan las piezas especiales en la fontanería de la tubería recta, **(para coeficiente K véase anexo A-8 para codos y anexo A-9 para reductor).**

Accesorio	k	Cantidad.	Total
Codo a 90° de 4" de diámetro	0.51	1	0.51
Reductor concéntrico 4"-5"	0.03	1	0.03
Válvula de globo 4"	5.8	1	5.8
Total			6.34

Para el diámetro de 4" y el tubo de 4" (diámetro interior de 108.2 mm Q= 0.0116 m³/s). De la ecuación de la continuidad obtenemos el valor de la velocidad de flujo.

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

Para determinar el área

$$A = \frac{\pi(D_{int})^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.108^2}{4} = 0.0091m^2$$

$$V = \frac{0.0116}{0.0091} = 1.27m/s$$

$$hfs = \frac{6.34 \times 1.27^2}{2 \times 9.81} = 0.52m$$

Pérdidas totales en piezas especiales fontanería

$$h_{fs} = 0.246 + 9.69 + 0.52 = 10.46$$

Pérdidas por velocidad.

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido [m/s]

g = Aceleración de la gravedad [9.8 m/s²]

a) Pérdidas por carga de velocidad para la tubería de 4" (V= 1.27 m/s)

$$h_v = \frac{1.27^2}{2 \times 9.81} = 0.082m$$
 Como son dos tramos, el valor es de 0.164 m

b) Pérdidas por carga de velocidad para la tubería de 2" (V= 5.27 m/s)

$$h_v = \frac{5.27^2}{2 \times 9.81} = 1.415m$$

$$H_v = 0.164 + 1.145 = 1.58m$$

Desnivel estático

El desnivel por vencer corresponde a la altura vertical entre el nivel dinámico y el nivel de descarga en la superficie del tanque.

$$h_e \text{ máximo} = 7 - 6.3 = 0.7m$$

$$h_e \text{ diseño} = 7 - 5.85 = 1.15 m$$

$$h_e \text{ mínimo} = 7 - .6 = 6.4m$$

Cálculo de la carga dinámica total de bombeo

La carga dinámica total se determinara con la suma de las energías que se indican

$$C.D.T.B = h_{fp} + h_{fs} + h_e + h_v$$

donde:

h_{fp} = Pérdidas de carga en tramos de tubería recta.

h_{fs} = Pérdidas de carga en piezas especiales.

h_e = Desnivel estático, estos desniveles se toman de máximo, diseño y mínimo.

h_v = Pérdidas por velocidad.

$$C.D.T.B_{diseño} = 6.81m + 10.46m + 1.15 + 0.158m = 18.578m$$

$$C.D.T.B_{máximo} = 6.81m + 10.46m + 0.7 + 0.158m = 18.128m$$

$$C.D.T.B_{mínimo} = 6.81m + 10.46m + 6.4 + 0.158m = 23.828m$$

Carga neta positiva de succión disponible (N.P.S.H.D)

Con objeto de garantizar que la bomba no quede expuesta a condiciones de daños hidromecánicos provocados por la presencia del fenómeno de cavitación, se procedió a revisar las condiciones de succión en relación a la carga neta disponible en el bombeo.

La carga neta positiva de succión disponible se define con la siguiente ecuación:

$$NPSHD = H_a + H_s - H_f - H_v$$

Donde:

NPSHD =Carga neta positiva de succión disponible en [m].

H_a =Presión atmosférica en [m].

H_s =Sumergencia de la bomba [m].

H_f =Pérdidas en la succión [m].

H_v = Presión de vapor del agua a la temperatura del agua bombeada [m].

Para la presión de vapor, se consultaron las propiedades del agua a varias temperaturas, para la temperatura de 38°C (**obteniendo. ver anexo A-10 donde se determinó el valor de la presión de vapor**).

$$H_v = 0.6804m.$$

Las pérdidas en la succión de bombeo corresponden a $H_f = 0.0858 m$.

Para determinar la sumergencia se determina en función de la siguiente ecuación.

$$H_s = 2.5d + 0.10$$

Diámetro de la tubería de succión $d = 0.108 m$

$$H_s = 2.5(0.108) + 0.10 = 0.37m$$

La presión atmosférica a la altitud del proyecto se establece de 1.002 bar = 29.6 mHg (ver Anexo A-11 donde se determinó el valor de presión atmosférica)

$$P_{atm} = 91.2 m$$

Se sustituyen los valores de cada uno de los términos anteriores en la ecuación para la carga neta positiva de succión disponible y tenemos:

$$N.P.S.H.D = 91.2 m + 0.37m - 0.0858m - 0.6804m = 90.9754$$

El resultado anterior se comparó con la carga neta positiva de succión requerido, el cual es dado por la curva operativa del equipo de bombeo preseleccionado, para tal caso se considera que el $N.P.S.H.R = 23$

$$N.P.S.H.D > N.P.S.H.R$$

Condición que se cumple ya que la carga neta positiva de succión disponible a nivel (**$N.P.S.H.D = 90.97 ft$**) es mayor con amplio margen a la carga neta positiva de succión requerida (**$N.P.S.H.R = 23 ft$**).

$$(N.P.S.H.D = 90.97 ft) > (N.P.S.H.R = 23 ft)$$

Cálculo de la potencia absorbida por la bomba.

Para calcular la potencia al freno se utiliza la siguiente expresión.

$$P_b = \frac{Q \cdot \gamma \cdot C.D.T.B}{76 \cdot \eta}$$

Donde:

P_b = Potencia de la bomba y del motor [HP].

Q = Caudal de bombeo [m^3 / s].

γ = Peso específico del agua 992.8 kg/m^3 [interpolando ver Anexo A 10].

C.D.T.B = Carga dinámica total de la bomba [m].

η = Eficiencia de la bomba, se obtiene de la curva operativa de la bomba analizada (0.67).

Sustituyendo tenemos:

$$P_b \text{ diseño} = \frac{0.0116 \times 992.8 \times 18.578}{78 \times 0.67} = 4.2HP$$

$$P_b \text{ máximo} = \frac{0.0116 \times 992.8 \times 18.128}{76 \times 0.67} = 4.09HP$$

$$P_b \text{ mínimo} = \frac{0.0116 \times 992.8 \times 23.828}{76 \times 0.67} = 5.38HP$$

Potencia teórica del motor.

Una vez calculada la potencia absorbida por la bomba, se calcula la potencia teórica del motor a instalar, aumentando a la potencia absorbida un porcentaje, según la tabla siguiente:

De 0,1 a 1,0.....	50%
De 1,0 a 1,5.....	30%
De 1,5 a 5.....	20%
De 5,0 a 20,0.....	15%
Más de 20.....	10%

$$Pb \text{ diseño} = 4.2HP + 20\% = 5.04.P$$

$$Pb \text{ maximo} = 4.09H.P + 20\% = 4.908 H.P$$

$$Pb \text{ minimo} = 5.38 H.P + 20\% = 6.45H.P$$

Potencia del motor de la bomba 1110.

$$Pb \text{ diseño} = 4.23HP = 5.04 H.P$$

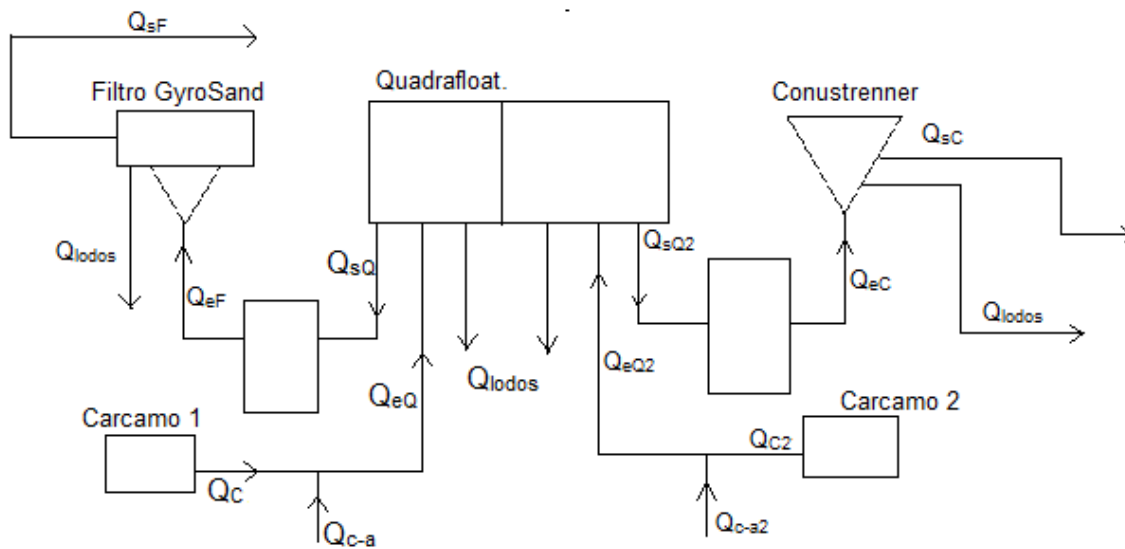
$$Pb \text{ máximo} = 4.12 H.P = 4.90 H.P$$

$$Pb \text{ mínimo} = 5.42 H.P = 6.45 H.P$$

El resultado obtenido se asemeja al calculado por el programa.

8. Balance de masa o ahorro real de agua en el proceso.

Teniendo en cuenta el DTP del anexo 1 se observa los caudales de entrada y salida de masa (agua) en el proceso, en la figura 3.6 estos datos los manejaremos en forma ideal, ya que en la fecha de realización de este trabajo el proyecto en la planta aún no está en marcha.



Tenemos

$$QC + Qc - a = QeQ$$

Donde:

Q_C = Caudal del cárcamo hacia el Quadrafloat.

Q_{c-a} = Caudal de mezcla coagulante-agua

Q_{eQ} = Caudal de entrada al Quadrafloat.

Nota: el caudal de agua que es transferido al UDS se desprecia ya que se vuelve a incorporar a la línea.

Entonces tenemos:

$$QC1 = 700 \text{ l/m con } 2000 \text{ ppm}$$

$$Qc - a = 0.1 + 25$$

$$QeQ = 700 \text{ l/m} + 25.1 \text{ l/m} = 725.1 \text{ l/m}$$

El caudal de salida del Quadrafloat (ideal) es de $Q_{sQ} = 623 \text{ l/m}$ por lo tanto:

$$Q_{lodos} = QeQ - QsQ$$

$$Q_{lodos} = 725.1 - 623 = 93.1 \text{ l/m}$$

Lo que indica que se recuperó el 87% de agua con una concentración de 100 ppm de 725 l/m

Esta agua es almacenada en el tanque 1, ahora el caudal que entra al Filtro GyroSand es de 670 l/m con 100 ppm al efectuarse la filtración se tiene:

$$Q_{lodos} = QeF - QsF$$

$$QsF = 650 \text{ l/m con una concentración } \leq 5 \text{ ppm}$$

$$Q_{lodos} = 670 - 650 = 20 \text{ l/m}$$

Por lo tanto aquí se tiene un ahorro del 97% de agua en este proceso.

Lo que indica que al final del tratamiento se recupera el 86.7% de agua que corresponde a 628 l/m, tan solo en la parte del Filtro GyroSand.

La otra parte del proceso que corresponde al Conustrenner es igual excepto que el caudal de salida del Conustrenner es de 635 l/m y el caudal de entrada a este equipo proviene del tanque 2 y tiene un valor de 670 l/m.

$$Q_{lodos} = Q_{eC} - Q_{sC}$$

$$Q_{sF} = 635 \text{ l/m con una concentración } \leq 5 \text{ ppm}$$

$$Q_{lodos} = 670 - 635 = 35 \text{ l/m}$$

Lo que indica que en esta parte se recupera un 94 % de agua, por lo que también se tiene un estimado del 86.3% de agua reciclada que corresponde a una cifra de 625.67 l/m.

Conclusiones.

México es un país rico en recursos naturales, tanto renovables y no renovables. Entre nuestros recursos renovables tenemos la radiación solar, la energía hidráulica como son las playas con sus mareas, la energía eólica y los bióticos que son los recursos de regeneración, por encima de su extracción la explotación excesiva de los mismos los puede convertir en recursos extintos como son los bosques, los peces, los mantos acuíferos, etc.

Los no renovables son aquellos que generalmente tienen depósitos limitados o con ciclos de regeneración muy por debajo de los ritmos de extracción o explotación como son el carbón, los minerales, los metales, el gas natural, los hidrocarburos, etc.

En nuestro país el agua que consumimos, principalmente se obtiene de ríos, arroyos y mantos acuíferos del subsuelo, los cuales se recargan de forma natural en la época de lluvias, pero la duración de esta temporada es insuficiente por ser muy corta.

En estas circunstancias el panorama en México es grave por la disponibilidad, desperdicio y contaminación de esta misma. El consumo desproporcionado que existe entre el consumo y el abasto hace que la disponibilidad de esta, cada vez sea menor, la falta de Infraestructura Hidráulica que satisface el agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de otros servicios.

Por la escasez y demanda del agua, depende el valor económico (monetario) de esta, es por eso, la preocupación de tener un mejor uso del agua, nos lleva a buscar mejores tecnologías para el uso industrial.

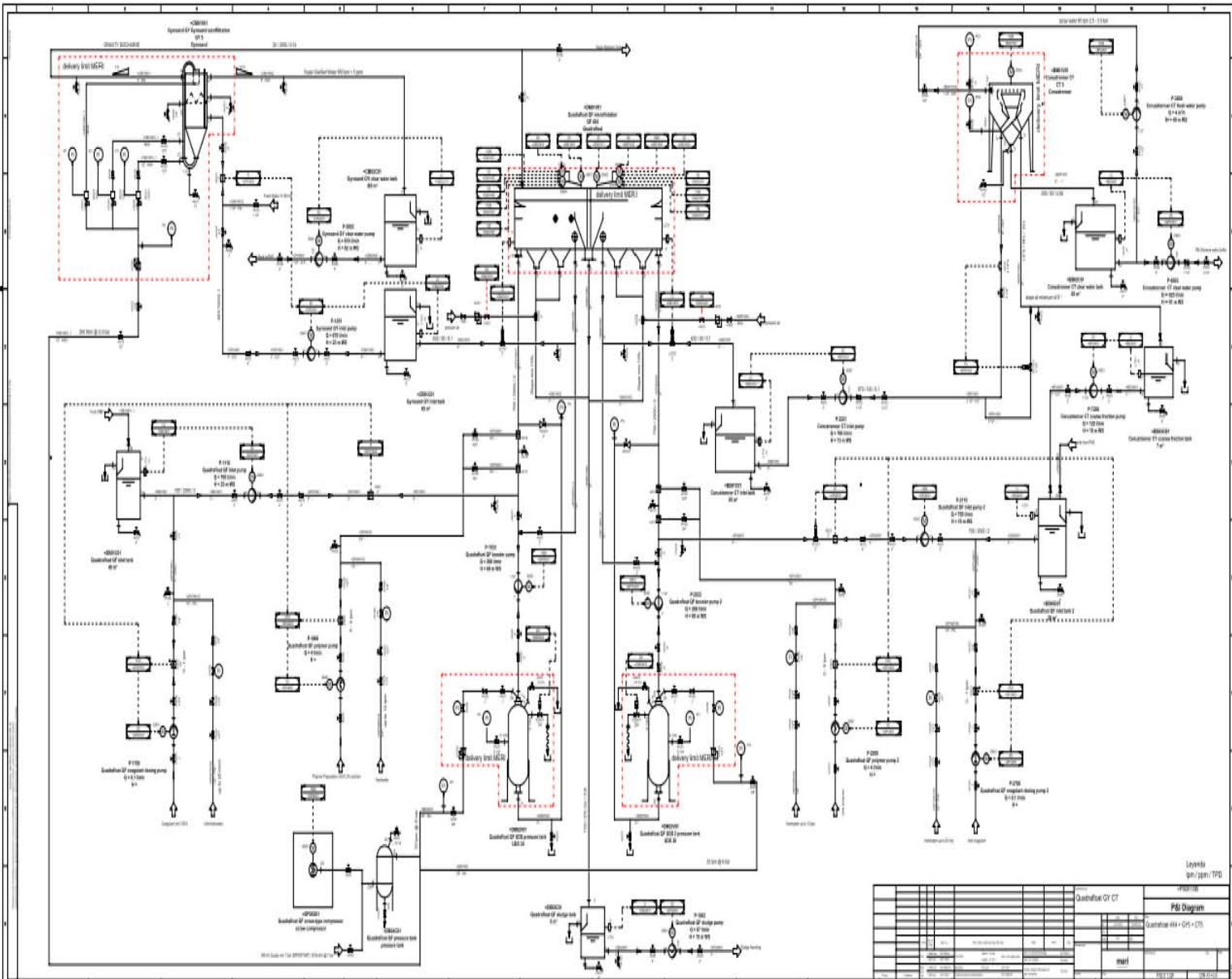
La industria, en este caso la papelera, consume grandes cantidades de agua, lo que significa una enorme pérdida económica, es por ello que las nuevas tecnologías incorporan equipos para el proceso industrial, tratamiento y ahorro de agua.

Es la misión del ingeniero la selección de los equipos y materiales usados en el montaje de los sistemas, el diseño de las rutas hidráulicas, el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas, así como la optimización de los recursos existentes para dicho proyecto, verificando el cumplimiento total de los parámetros de seguridad requeridos, en la actualidad los adelantos de la ciencia y tecnológicos facilitan las tareas de los ingenieros, existiendo en el mercado diferentes programas que facilitan los cálculos y diseños, como el utilizado en este trabajo (piperflowexpert).

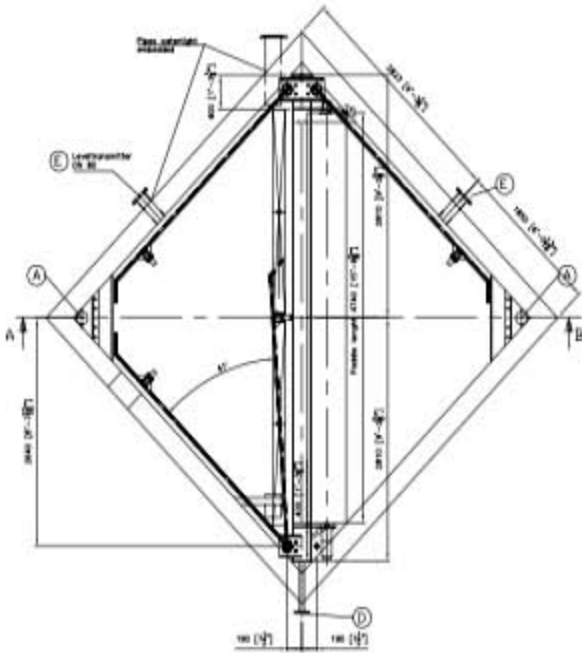
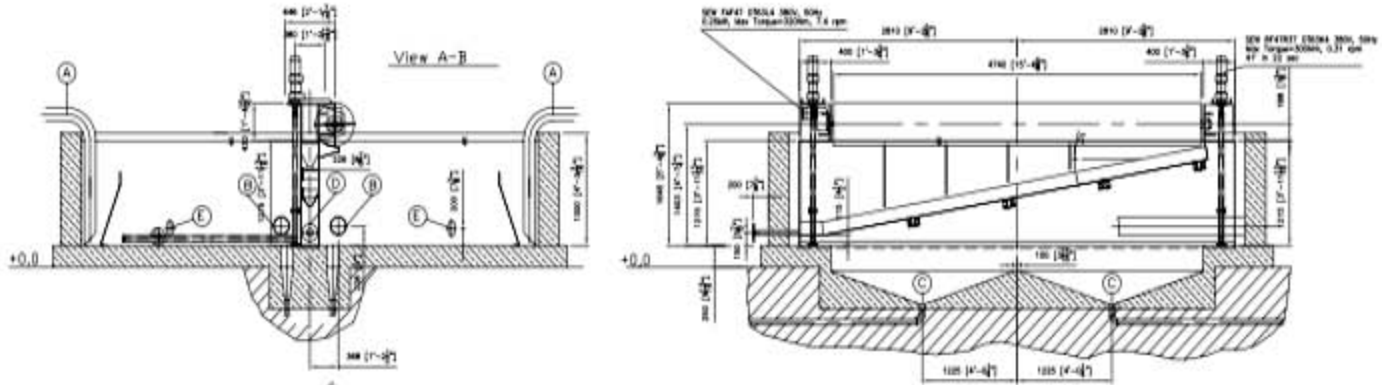
En mi experiencia personal el ingeniero debe estar a la vanguardia de de los avances de la ciencia y la tecnología para obtener mejores resultados en sus diferentes proyectos laborales en los que se encuentra el software y hardware, el software o programas específicos como es el piperflowexpert son herramientas útiles para el Ingeniero y que la mayoría de las empresas maneja para una mejor calidad y productividad en las industrias, el proyecto realizado en la planta CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. Fue planeado en el año 2009 llevando a cabo el proyecto desde la planeación la construcción y funcionamiento, actualmente está instalado y puesto en marcha.

BIBLIOGRAFÍA.

- DEGRÉMONT. MANUAL TÉCNICO DEL AGUA. CUARTA EDICIÓN. BILBAO, 1979.
- GESTION DEL AGUA EN LA INDUSTRIA PAPELERA
www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-3.PDF
- PANORAMA NACIONAL: AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN MÉXICO
http://www.sarar.org/publicaciones/Panorama%20nacional%20A_S%20MEX%20NS%2010_10.pdf
- Financiera Rural.
edelamadrid@financierarural.gob.mx
- LEY DE AGUAS NACIONALES Última Reforma DOF 18-04-2008
www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf - Similares
- C. EARL LIBBY. CIENCIA Y TECNOLOGÍA SOBRE PAPEL. TOMO II PAPEL MÉXICO CONTINENTAL 1968.
 - JAMES P. CASEY, PULPA Y PAPEL QUÍMICA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA. VOLUMEN 1 LIMUSA 1990
 - JAMES P. CASEY, PULPA Y PAPEL QUÍMICA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA. VOLUMEN 2 LIMUSA 1990
- L. MOTT ROBOT, MECÁNICA DE FLUIDOS, SEXTA EDICIÓN Pearson Prentice Hall 1998
- Hidrostal. Manual del usuario 2008.



CONVERTIPAP ASSEMBLY DRAWING, QUADRAFLOAT 4x4



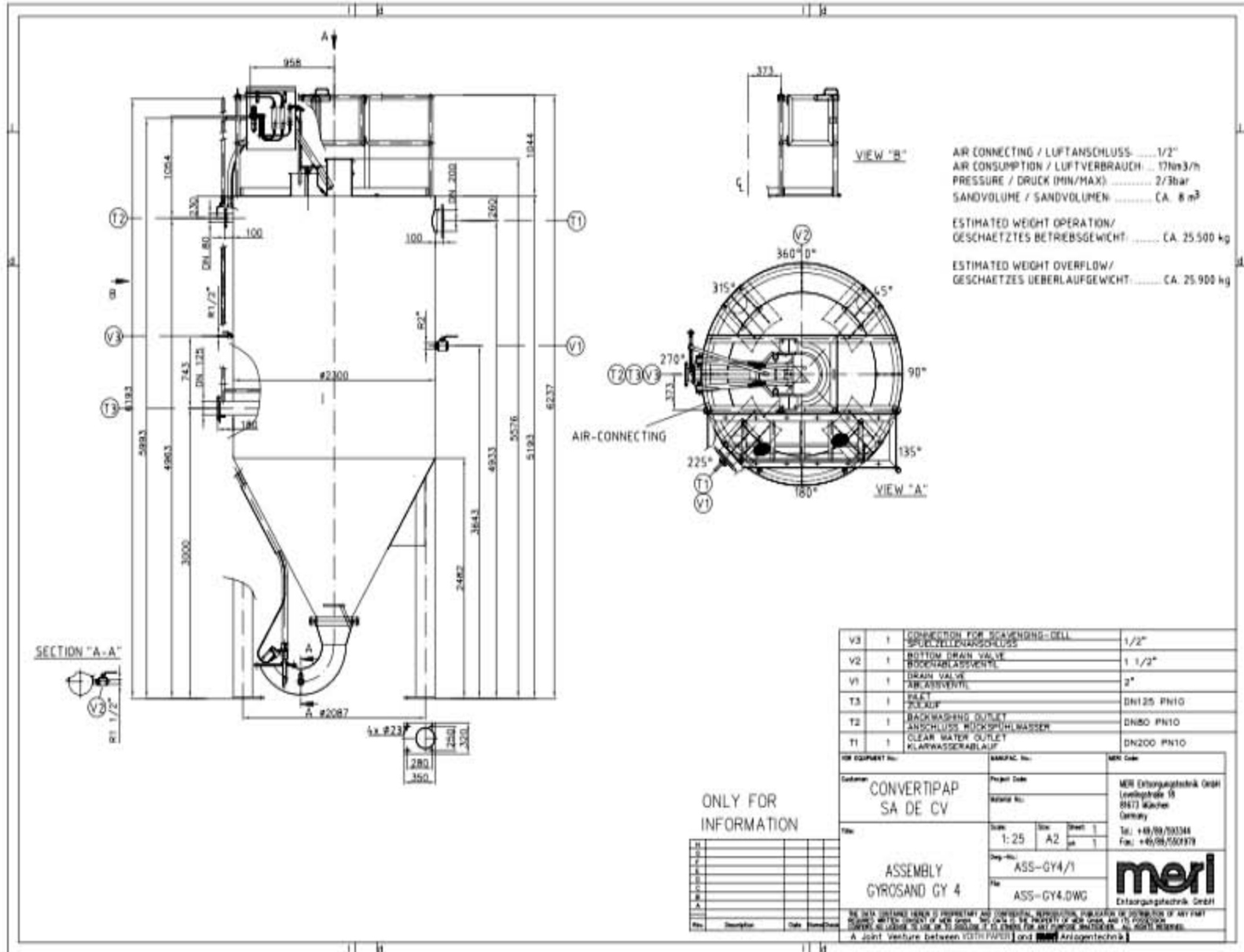
EQUIPMENT NUMBER
XXX - XXX - XXX

Items	Description	Size		Notes
		DN	Inch	
E	Level Transmitter	2 x 80	2 x 3"	
D	Flocculated Sludge	2 x 80	2 x 3"	
C	Settled Sludge	2 x 50	2 x 1 1/4"	
B	Clarified Water	2 x 200	2 x 8"	
A	Raw Water	2 x 500	2 x 8"	

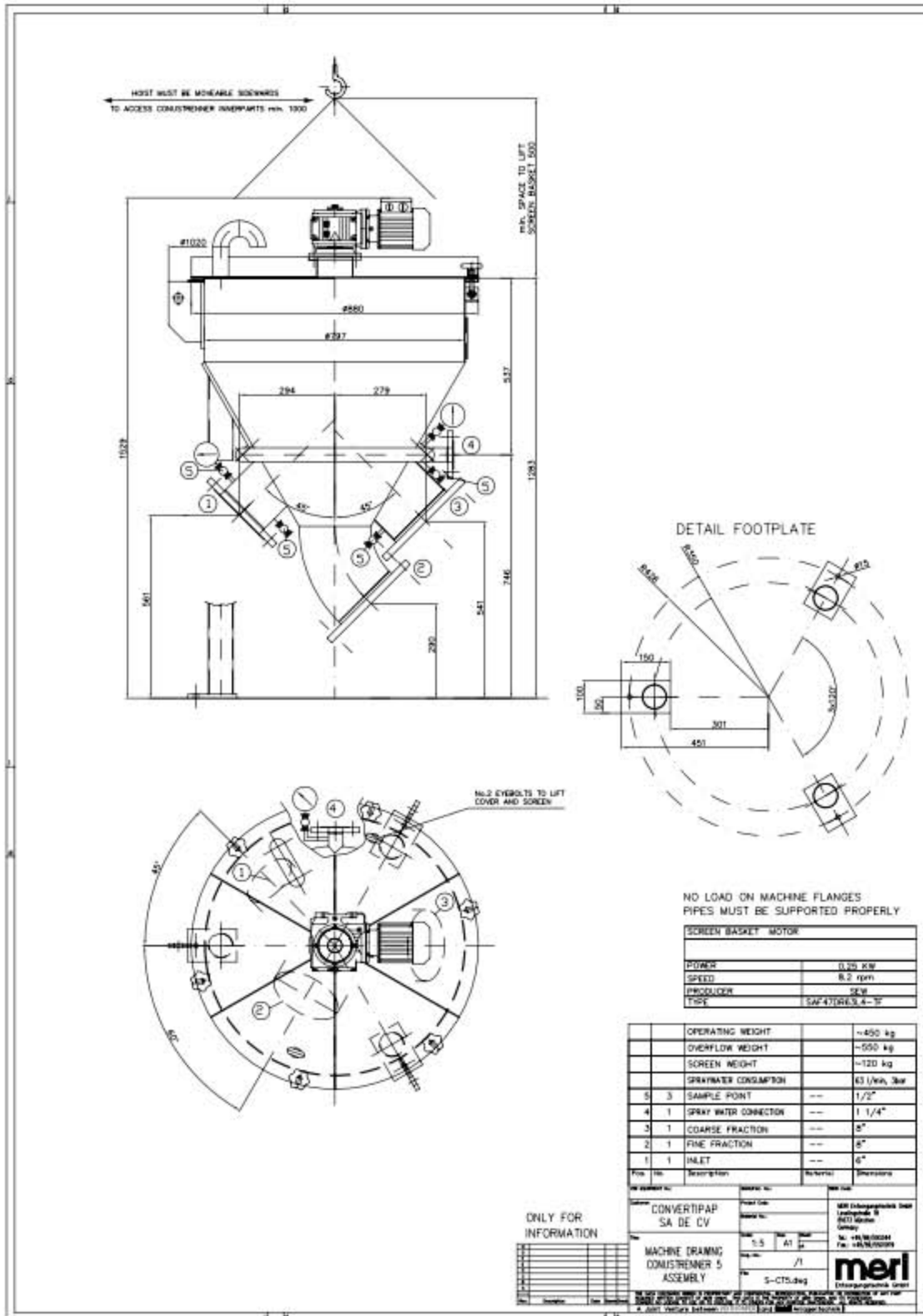
ONLY FOR
INFORMATION

CONVERTIPAP SA de CV		Scale: 1:25 Sheet: A1	Project No.: Drawing No.: Date:
Assembly Drawing Quadrafloat 4x4 Concrete Version		Drawing Code: ASSY-QF444/1 Drawing Code: ASSY-QF444.dwg	merl merl

ANEXO A-2



ANEXO A-4



ANEXO A-5

BOMBA 1003

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 2	Unidades
IDENTIFICACION	P-1003	N.A.
GASTO	4	m ³ /h
FLUIDO	Lodo	N.A.
Consistencia	4	%
Viscosidad	1500	cP
Temperatura	33	°C
NPSHa (Absoluto)	20.045	m hd
Pump Head (+)	15	m hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Descarga bomba)	Unidades
Diametro	3	in
Longitud aproximada	14	m
Codos 90° 3"	3	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 3"	1	N.A.
Valvula check bridada 3"	1	N.A.
	DESCARGA	UNITS
Nivel del cono de descarga	10	m
Nivel de fluido en cono	2	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar

BOMBA P1110

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 1	Unidades
IDENTIFICACION	P-1110	N.A.
GASTO	42	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.2	%
Temperatura	38	°C
NPSHa (Absoluto)	20.531	m Hd
Pump Head (+)	23	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Descarga bomba)	Unidades
Diametro	4	in
Longitud aproximada	3	m
Codos 90° 4"	1	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 4"	1	N.A.
Valvula check bridada 4"	1	N.A.
Reductor concentrico 4"-2"	1	N.A.
	TUBERIA 2 (Control flujo)	Unidades
Diametro	2	in
Longitud aproximada	3	m
Medidor de flujo bridado de 2"	1	N.A.
Reductor concentrico 4"-2"	1	N.A.
	TUBERIA 3 (Trazo completo)	Unidades
Diametro	4	in
Longitud aproximada	100	m
Codos 90° 4"	9	N.A.
Anillos inyectoros de quimicos bridados 4"	2	N.A.
Reductor concentrico 4"-5"	1	N.A.
	DESCARGA	Unidades
Nivel de descarga en Quadrafloat (rack tuberia)	6	m
Nivel hidrostatico de agua en tanque (rebose)	1.6	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar

BOMBA P-1251

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 4	Unidades
IDENTIFICACION	P-1251	N.A.
GASTO	40	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	35	°C
NPSHa (Absoluto)	20.532	m Hd
Pump Head (+)	23	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Descarga bomba)	Unidades
Diametro	4	in
Longitud aproximada	3	m
Codos 90° 4"	1	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 4"	2	N.A.
Valvula check bridada 4"	1	N.A.
4" - 2" Reductor concentrico	1	N.A.
	TUBERIA 2 (Control flujo)	Unidades
Diametro	2	in
Longitud aproximada	3	m
Medidor de flujo bridado de 2"	1	N.A.
Reductor concentrico 5"-2"	1	N.A.
	TUBERIA 3 (Trazo completo)	Unidades
Diametro	5	in
Longitud aproximada	32	m
Codos 90° 5"	4	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 5"	1	N.A.
	DESCARGA	Unidades
Nivel de descarga en Gyrosand (rack tubería)	6	m
Nivel hidrostático de agua en tanque (rebose)	5.7	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar

BOMBA P- 1533

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 9	Unidades
IDENTIFICACION	P-1533	N.A.
GASTO	17	m3/h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	35	°C
NPSHa (Absoluto)	25.119	m hd
Pump Head (+)	69	m hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	ALIMENTACION TUBERIA	Unidades
Presion aproximada de entrada	1.47	bar
Nivel de succion de bomba	0.3	m
	TUBERIA 1 TRAZO Completo	Unidades
Diametro	2	in
Longitud aproximada	12	m
2" 90° Codos	6	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 2"	1	N.A.
Valvula check bridada 2"	1	N.A.
	DESCARGA PRESURIZADA	Unidades
Elevacion a la descarga	6	m
Presion requerida en valvula de expansion	6.5	bar

BOMBA P-2110

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 3	Unidades
IDENTIFICACION	P-2110	N.A.
GASTO	42	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.2	%
Temperatura	38	°C
NPSHa (Absoluto)	20.531	m Hd
Pump Head (+)	16	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Descarga bomba)	Unidades
Diametro	4	in
Longitud aproximada	3	m
Codos 90° 4"	1	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 4"	1	N.A.
Valvula check bridada 4"	1	N.A.
Reductor concentrico 4"-2"	1	N.A.
	TUBERIA 2 (Control flujo)	Unidades
Diametro	2	in
Longitud aproximada	3	m
Medidor de flujo bridado de 2"	1	N.A.
Valvula de control bridada de 2" mariposa	1	N.A.
Reductor concentrico 4"-2"	1	N.A.
	TUBERIA 3 (Trazo completo)	Unidades
Diametro	4	in
Longitud aproximada	30	m
Codos 90° 4"	3	N.A.
Anillos inyectoros de quimicos bridados 4"	2	N.A.
Reductor concentrico 4"-5"	1	N.A.
	DESCARGA	Unidades
Nivel de descarga en Quadrafloat (rack tuberia)	6	m
Nivel hidrostatico de agua en tanque (rebose)	1.6	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar

BOMBA P-2251

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 5	Unidades
IDENTIFICACION	P-2251	N.A.
GASTO	42	m3/h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	35	°C
NPSHa (Absoluto)	20.182	m Hd
Pump Head (+)	13	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Trazo completo)	Unidades
Diametro	2 1/2"	in
Longitud aproximada	10	m
Codos 90° 2 1/2"	2	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 2 1/2"	2	N.A.
2 1/2" Valvula check	1	N.A.
6" - 2 1/2" Reductor concentrico	1	N.A.
	DESCARGA PRESURIZADA	Unidades
Elevacion a la descarga	6	m
Presion demandada en descarga	1.2	bar

BOMBA P-3800

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 6	Unidades
IDENTIFICACION	P-3800	N.A.
GASTO	4	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	35	°C
NPSHa (Absoluto)	20.08	m Hd
Pump Head (+)	49	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 (Trazo completo)	Unidades
Diametro	3/4	in
Longitud aproximada	14	m
Codos 90° 3/4"	5	N.A.
3/4" Valvula bola	1	N.A.
1 1/4" - 3/4" Reductor concentrico	1	N.A.
	DESCARGA PRESURIZADA	Unidades
Elevacion a la descarga	6	m
Presion demandada en descarga	3.5	bar

BOMBA P-5003

MATERIAL TUBO:

304 SS Cedula 10

	BOMBA 7	Unidades
IDENTIFICACION	P-5003	N.A.
GASTO	40	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	33	°C
NPSHa (Absoluto)	20.495	m Hd
Pump Head (+)	82	m Hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	0.5	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 TRAZO Completo	Unidades
Diametro	3	in
Longitud aproximada	140	m
Codos 90° 3"	15	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 3"	2	N.A.
Valvula check bridada 3"	1	N.A.
3" - 1" Reductor concentrico	1	N.A.
	TUBERIA 2 Union final al corte	Unidades
Diametro	1	in
Longitud aproximada	2	m
	DESCARGA PRESURIZADA	Unidades
Diametro	1	in
Elevacion a la descarga	6	m
Presion en tubo al corte (tubo de 1")	4	bar

BOMBA P-6003

MATERIAL TUBO:**304 SS Cedula 10**

	BOMBA 8	Unidades
IDENTIFICACION	P-6003	N.A.
GASTO	37.5	m ³ /h
FLUIDO	Agua	N.A.
Consistencia	0.01	%
Temperatura	33	°C
NPSHa (Absoluto)	20.414	m hd
Pump Head (+)	91	m hd
Potencia aproximada motor bomba		kW
TRAZADO DE TUBERIA		
	TANQUE ALIMENTACION	Unidades
Nivel referencia fondo del tanque	0	m
Nivel del agua en el tanque (minimo)	1	m
Presion atmosferica (Ixtapaluca)	1.002	bar
Altura succion de bomba respecto al fondo	0.3	m
	TUBERIA 1 TRAZO Completo	Unidades
Diametro	2 1/2"	in
Longitud aproximada	115	m
Codos 90° 2 1/2"	10	N.A.
Valvula de cuchilla bridada 2 1/2"	2	N.A.
Valvula check bridada 2 1/2"	1	N.A.
2 1/2" - 1" Reductor concentrico	1	N.A.
	TUBERIA 2 Union final al corte	Unidades
Diametro	1	in
Longitud aproximada	2	m
	DESCARGA PRESURIZADA	Unidades
Diametro	1	in
Elevacion a la descarga	6	m
Presion en tubo al corte (tubo de 1")	4	bar

Anexo A- 6

Tabla de Referencia de Espesores de Tubería de Acero Inoxidable

Diámetro Nominal		Ced	Diametro Exterior		Espesor Pared		Presion de Ruptura		Presion Interna de Trabajo		Peso Aproximado	
Pulg	mm		Pulg	mm	Pulg	mm	(Psi)	Kg/cm	(Psi)	Kg/cm	Lb/Pies	Kg/Mt
1/8	3.175	10	.405	10.287	.049	1.244	17070	1200	4270	300	.1863	.277
1/8	3.175	40	.405	10.287	.068	1.727	24700	1736	6170	434	.2447	.364
1/4	6.350	10	.540	13.716	.065	1.651	16980	1194	4240	298	.3297	.490
1/4	6.350	40	.540	13.716	.088	2.235	23900	1680	5970	420	.4248	.632
3/8	9.525	10	.675	17.145	.065	1.651	13300	935	3320	233	.4235	.630
3/8	9.525	40	.675	17.145	.091	2.311	19260	1354	4810	338	.5676	.844
1/2	12.700	5	.840	21.336	.65	1.651	10510	739	2630	185	.5383	.800
1/2	12.700	10	.840	21.336	.083	2.108	13670	961	3420	240	.6710	.998
1/2	12.700	40	.840	21.336	.109	2.768	18470	1298	4610	324	.8510	1.266
3/4	19.050	5	1.050	26.670	.65	1.651	8300	583	2070	145	.6838	1.062
3/4	19.050	10	1.050	26.670	.083	2.108	10750	756	2690	189	.8572	1.275
3/4	19.050	40	1.050	26.670	.113	2.870	15010	1055	3750	264	1.131	1.682
1	25.400	5	1.315	33.401	.065	1.651	6550	460	1640	115	.8678	1.291
1	25.400	10	1.315	33.401	.109	2.768	11320	796	2830	199	1.404	2.088
1	25.400	40	1.315	33.401	.133	3.378	14040	897	3510	247	1.679	2.498
1 1/4	31.750	5	1.600	42.164	.065	1.651	5150	362	1290	91	1.107	1.646
1 1/4	31.750	10	1.600	42.164	.109	2.768	8830	621	2210	155	1.806	2.686
1 1/4	31.750	40	1.600	42.164	.140	3.556	11530	811	2880	202	2.273	3.382
1 1/2	38.100	5	1.900	48.260	.065	1.651	4480	315	1120	79	1.274	1.895
1 1/2	38.100	10	1.900	48.260	.109	2.768	7660	538	1920	135	2.085	3.102
1 1/2	38.100	40	1.900	48.260	.145	3.683	10370	729	2590	182	2.718	4.044
2	50.800	5	2.375	60.325	.065	1.651	3560	250	890	63	1.604	2.386
2	50.800	10	2.375	60.325	.109	2.768	6060	426	1520	107	2.638	3.924
2	50.800	40	2.375	60.325	.154	3.911	8720	613	2180	153	3.653	5.434
2 1/2	63.500	5	2.875	73.025	.083	2.108	3760	264	940	66	2.475	3.582
2 1/2	63.500	10	2.875	73.025	.120	3.048	5500	387	1380	97	3.531	5.253
2 1/2	63.500	40	2.875	73.025	.203	5.156	9550	671	2390	168	5.793	8.618
3	76.200	5	3.500	88.900	.083	2.108	3080	217	770	54	3.029	4.506
3	76.200	10	3.500	88.900	.120	3.048	4490	316	1120	79	4.332	6.445
3	76.200	40	3.500	88.900	.216	5.486	8270	581	2070	146	7.576	11.271
3 1/2	88.900	5	4.000	101.600	.083	2.108	2690	189	672	47	3.472	5.165
3 1/2	88.900	10	4.000	101.600	.120	3.048	3920	276	980	69	4.973	7.398
3 1/2	88.900	40	4.000	101.600	.226	5.740	7540	530	1890	133	9.109	13.552
4	101.600	5	4.500	114.300	.083	2.108	2390	168	596	42	3.915	5.824
4	101.600	10	4.500	114.300	.120	3.048	3470	244	867	61	5.613	8.351
4	101.600	40	4.500	114.300	.237	6.019	7000	492	1750	123	10.790	16.053
6	152.400	5	6.625	168.275	.109	2.77	2130	150	531	37	7.585	11.290
6	152.400	10	6.625	168.275	.134	3.40	2620	184	655	46	9.289	13.826
6	152.400	40	6.625	168.275	.280	7.11	5580	392	1395	98	18.97	28.234

Anexo A- 7

Coefficiente n de Manning para diversos tubos comerciales

Tipo de tubo	n
Tubería de acero soldado	0,012
Tubería de polietileno PE	0,009
Tubería de PVC	0,009
Tubería de Uralita	0,011
Tubería de hierro dúctil	0,015
Tubería de hierro fundido	0,014
Tubería de duelas de madera creosotadas	0,012
Tubería de hormigón colado in situ (encofrado metálico)	0,014

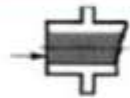
TECH-C-2 Resistance Coefficients for Valves and Fittings



BELL-MOUTH
INLET OR REDUCER
K = 0.05



SQUARE EDGED INLET
K = 0.5

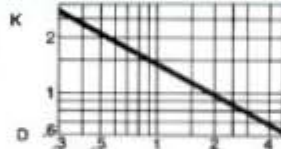


INWARD PROJECTING PIPE
K = 1.0

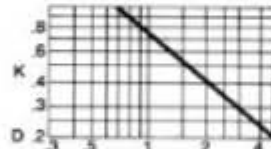
NOTE: K DECREASES WITH
INCREASING WALL THICKNESS OF
PIPE AND ROUNDING OF EDGES



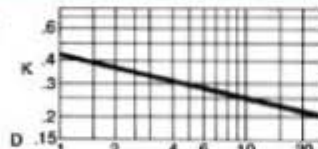
REGULAR
SCREWED
90° ELL



LONG
RADIUS
SCREWED
90° ELL



REGULAR
FLANGED
90° ELL



LONG
RADIUS
FLANGED
90° ELL

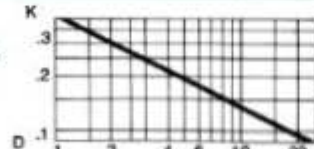


Chart 1

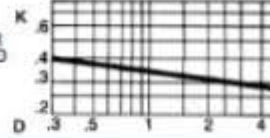
Where:

h = Frictional Resistance in Feet of Liquid

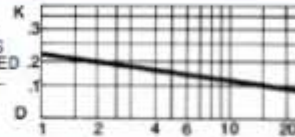
V = Average Velocity in Feet/Second in a Pipe of Corresponding Diameter



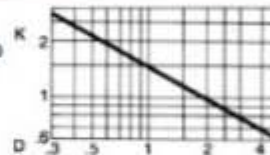
REGULAR
SCREWED
45° ELL



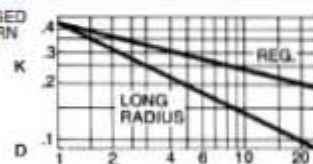
LONG
RADIUS
FLANGED
45° ELL



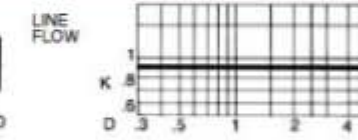
SCREWED
RETURN
BEND



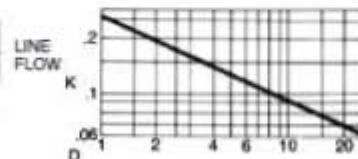
FLANGED
RETURN
BEND



SCREWED
TEE



FLANGED
TEE



$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

$g = 32.17$ Feet/Second/Second

K = Resistance Coefficient For Valve or Fitting

Anexo A-9

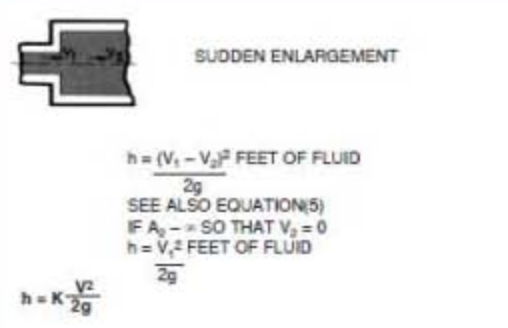
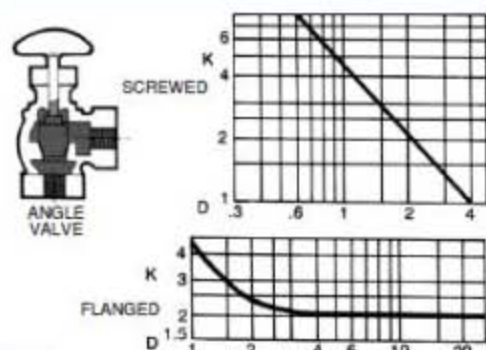
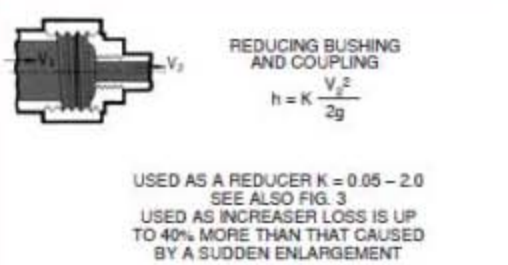
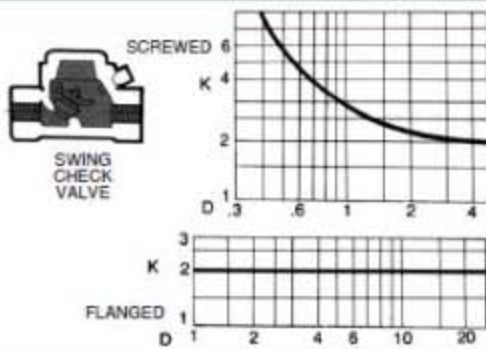
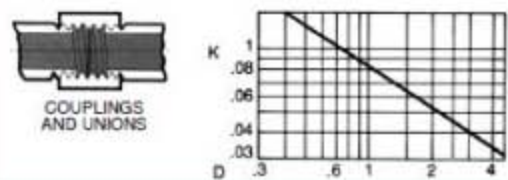
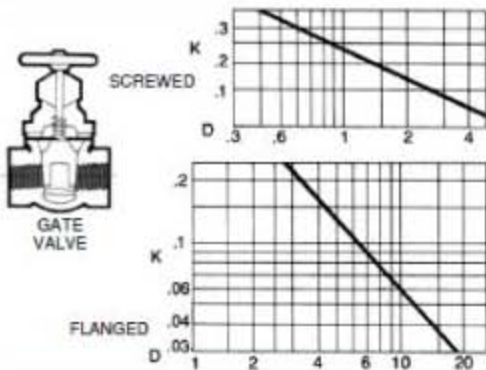
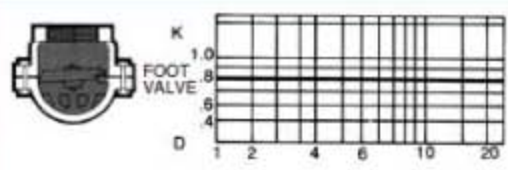
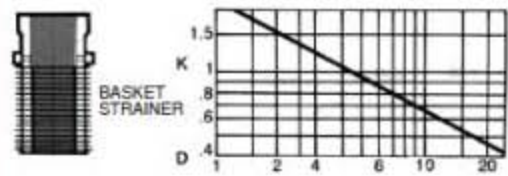
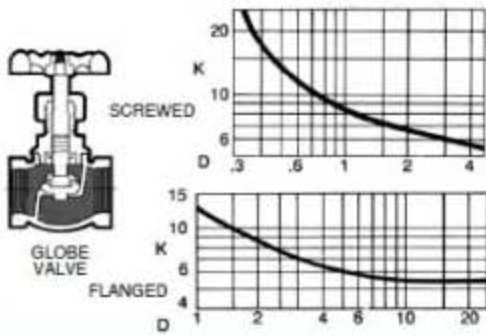


Chart 2
Reprinted from PIPE FRICTION MANUAL, Third Edition, Copyright 1961 by Hydraulic Institute.



Anexo A-10

Temperatura		Peso especifico Kg/dm ³	Presión de vapor (P.V.P)	
C°	F°		M. Abs.	P. Sl.Abs
0	32	0.9998	0.062	0.088
5	41	1.000	0.089	0.127
10	50	0.9996	0.125	0.1781
5	59	0.9990	0.174	0.247
20	68	0.9982	0.238	0.338
25	77	0.9970	0.323	0.459
30	86	0.9955	0.432	0.614
35	95	0.9939	0.573	0.815
40	104	0.9921	0.752	1.070
45	113	0.9900	0.977	1.389
50	122	0.9880	1.258	1.789
55	131	0.9857	1.605	2.283
60	140	0.9831	2.031	2.889
70	158	0.977	3.177	4.519
75	167	0.9748	3.931	5.591
80	179	0.9718	4.829	6.869
85	185	0.9687	5.894	8.383
90	194	0.9653	7.149	10.168
95	203	0.9619	8.619	12.259
100	212	0.9583	10.332	14.696

Presión de vapor de agua

TECH-C-6 Atmospheric Pressure, Barometer Reading and Boiling Point of Water at Various Altitudes

Altitude		Barometric Reading		Atmos. Pressure		Boiling Pt. Of Water °F
Feet	Meters	In. Hg	Mm. Hg.	psia	Ft. Water	
- 1000	- 304.8	31.0	788	15.2	35.2	213.8
- 500	- 152.4	30.5	775	15.0	34.6	212.9
0	0.0	29.9	760	14.7	33.9	212.0
+ 500	+ 152.4	29.4	747	14.4	33.3	211.1
+ 1000	304.8	28.9	734	14.2	32.8	210.2
1500	457.2	28.3	719	13.9	32.1	209.3
2000	609.6	27.8	706	13.7	31.5	208.4
2500	762.0	27.3	694	13.4	31.0	207.4
3000	914.4	26.8	681	13.2	30.4	206.5
3500	1066.8	26.3	668	12.9	29.8	205.6
4000	1219.2	25.8	655	12.7	29.2	204.7
4500	1371.6	25.4	645	12.4	28.8	203.8
5000	1524.0	24.9	633	12.2	28.2	202.9
5500	1676.4	24.4	620	12.0	27.6	201.9
6000	1828.8	24.0	610	11.8	27.2	201.0
6500	1981.2	23.5	597	11.5	26.7	200.1
7000	2133.6	23.1	587	11.3	26.2	199.2
7500	2286.0	22.7	577	11.1	25.7	198.3
8000	2438.4	22.2	564	10.9	25.2	197.4
8500	2590.8	21.8	554	10.7	24.7	196.5
9000	2743.2	21.4	544	10.5	24.3	195.5
9500	2895.6	21.0	533	10.3	23.8	194.6
10000	3048.0	20.6	523	10.1	23.4	193.7
15000	4572.0	16.9	429	8.3	19.2	184.0