

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

**INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

INNOVACIÓN DEL SISTEMA DE ACHIQUE DE LA SEGUNDA ETAPA

**EMPRESA:**

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
MANUEL MORENO TORRES).

**CARRERA:**

INGENIERIA MECÁNICA

**PRESENTA:**

JAVIER CARDEL ZAMORA

**PERIODO DE REALIZACIÓN:**

AGOSTO-DICIEMBRE DEL 2015

## Índice

Introducción.....	3
Justificación.....	4
Objetivos.....	5
Caracterización del área en que participa.....	6
Problemas a resolver.....	8
Alcances y limitaciones.....	9
Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	10
Marco teórico.....	11
Resultados.....	27
Conclusiones y recomendaciones.....	48
Referencias bibliográficas.....	49

## INTRODUCCIÓN

Al emprender el estudio de la mecánica aplicada y al finalizar esta misma se procede a sentar los conocimientos y la capacidad analítica de cada estudiante para resolver una gran variedad de problemas de ingeniería. Actualmente la ingeniería exige un elevado nivel de la capacidad analítica.

En base a la mecánica aplicada podemos aprender a construir y resolver los modelos matemáticos que describen los efectos de las fuerzas y los movimientos sobre una gran variedad de estructuras y maquinas que son de gran interés para los ingenieros.

Aplicando los principios de la mecánica, se consigue formular dichos modelos incorporando a ellos las hipótesis físicas y las aproximaciones matemáticas adecuadas ,tanto en planteo como en la resolución de problemas, en mecánica es muy frecuente utilizar conocimientos de geometría algebra, calculo vectorial. El éxito en el desarrollo de proyectos mecánicos y en toda la ingeniería depende grandemente del desarrollo de un método bien disciplinado para abordar los problemas desde las hipótesis de partida hasta su conclusión de las mismas.

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto innovación del sistema de achique de la segunda etapa es la respuesta a un problema presentado en la casa de maquinas de la C.H.M.M.T. Ubicada en el municipio de Chicoasen.

¿Para que hacer el proyecto innovación del sistema de achique de la segunda etapa?

Se pretende realizarse de manera inmediata, debido a que gran parte de las filtraciones, achique del caracol y fugas de agua de los sistemas que se encuentran en funcionamiento, se alojan en un cárcamo, el cual por su tamaño no es suficiente dicho alojamiento del líquido y tiende a rebosarse pudiendo así provocar una serie de riesgos laborales como ambientales. En cuanto a riesgos laborales podría ocasionar incidentes en los trabajadores a causa del piso resbaloso, corrosión y daño de equipos cercanos al cárcamo.

En riesgos ambientales se presentaría contaminación por medio de cantidades pequeñas de aceite y grasa en el área de trabajo, ya que el agua en su totalidad tiene que ser evacuada al cause del rio y esta al entrar en contacto con el sistema de flora y vida acuática podría ocasionar la muerte de ellos dejando así daños irreparables para el medio ambiente y la población de habitantes que utilizan dicho liquido que se utilizarían para actividades de riego. Por lo tanto, cabe mencionar que desarrollar el proyecto mencionado es de suma importancia de lo contrario se tendrían algunos eventos inesperados con hechos lamentables.

Es importante destacar que cuando una maquina de 300 Mw esta en mantenimiento, es necesario evacuar 2,877,350.39 galones, a esto se le suma el agua de enfriamiento del prensaestopas de la flecha principal, que entre todas las unidades suman 45,000 l/h. sin embargo con las 8 unidades generadoras en operación, la maniobra de achique tiene una duración de 90 minutos, es decir existe un desalojo de 315,000 galones en 1.5 horas por cada ocho horas de aportación al cárcamo. Sin embargo las aportaciones con una unidad en mantenimiento ascienden a 420,000 galones acumulados cada 4 horas y la maniobra de achique tiene una duración de 120 minutos.

## OBJETIVOS

### Generales:

- Contribuir en el desempeño productivo de la empresa, en base a que no se presenten daños ambientales y se mantengan en control de ciertas variables que se atribuyen directamente en las ganancias de la empresa.
- Evitar los riesgos por inundación de la central hidroeléctrica teniendo en riesgo los equipos y el personal de operación.

### Específicos:

- Evacuar el agua de fugas y filtraciones que se almacenan en el cárcamo, para enviarlas al cause del río.
- Mantener los niveles de seguridad de operación para el buen desempeño de los equipos.
- Evitar los accidentes en el área de trabajo, por el agua derramada en zonas de tránsito del personal que labora en la central.
- Evitar la contaminación ambiental, debido a riesgos de fugas de aceite que podrían regarse por los pasillos cercanos y contaminar el agua del cárcamo.

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPA

La hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres, se encuentra ubicada en el municipio de Chicoasen Chiapas en el km 40 de la carretera Tuxtla Chicoasen como se muestra en la figura 1.

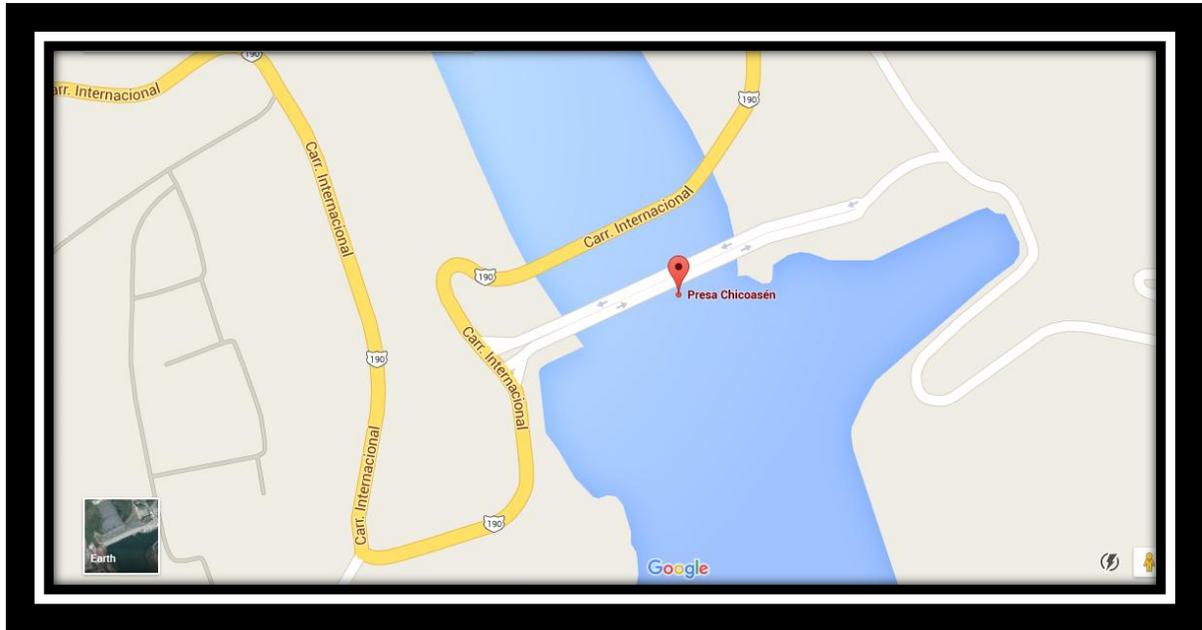
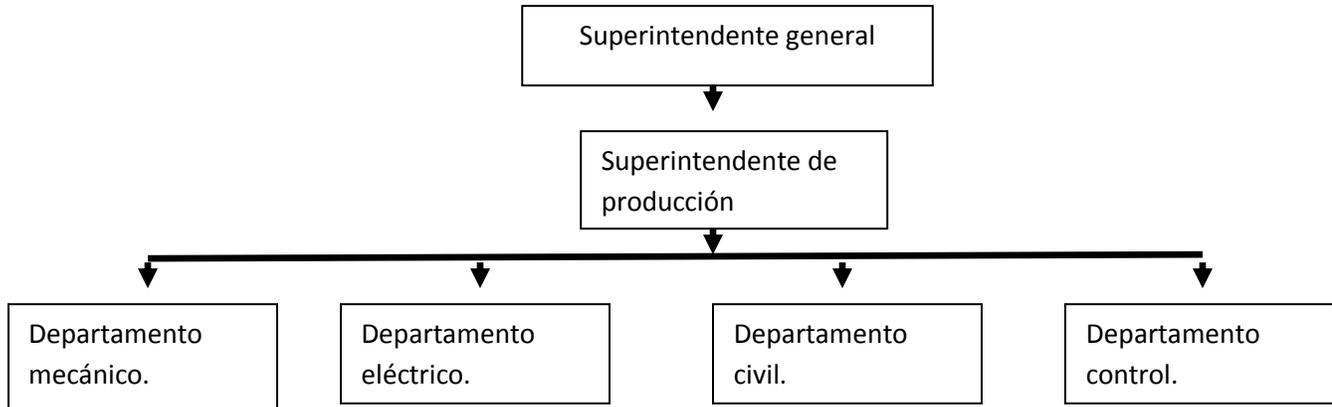


Figura 1. Ubicación de la central

## Organigrama



## POLÍTICAS

Proporcionar el servicio público de energía eléctrica y otros servicios relacionados de acuerdo relacionado a los requerimientos de la sociedad, con base en el desempeño competitivo de los procesos de dirección de operación y de mejora continua de la eficacia del sistema integral de gestión con el compromiso de:

- ✓ Formar y desarrollar el capital humano, incluyendo la cultura de equidad de género.
- ✓ Controlar los riesgos, para prevenir lesiones y enfermedades al personal y daños a las instalaciones.
- ✓ Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.
- ✓ Prevenir la contaminación y aprovechar de manera responsable los recursos naturales.
- ✓ Realizar acciones sociales.

## MISIÓN

Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente

## VISIÓN AL 2030

Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial. Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

## **PROBLEMAS A RESOLVER.**

- A la llegada de la empresa se presentó un pequeño problema, no se encontraba en el archivo técnico, un dibujo con las dimensiones del cárcamo, por lo tanto se procedió a realizar las mediciones reales.
- Analizar las variables y elaborar el cálculo correspondiente a la selección de las bombas de achique.
- Elaborar el cálculo de la estructura de soporte de las bombas.

## **ALCANCES Y LIMITACIONES**

El proyecto innovación del sistema de achique de la segunda etapa de la casa de maquinas es de suma importancia debido a que con este sistema se podrán realizar trabajos de mantenimiento y reparación de las unidades generadoras de energía eléctrica de la C.H.M.M.T. A un menor tiempo debido a que el achique de la tubería y el desalojo del fluido del cárcamo al rio seria en un menor tiempo.

Por otra parte al no llevarse acabó este proyectó se podría presentar una inundación que afectaría a los equipos que componen el sistema de generación de energía eléctrica, afectando principalmente la economía de la empresa y poner en riesgo la integridad de los que ahí laboran.

## PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

- Durante la primera semana que comprende del 24 al 31 de agosto del año en curso la primera actividad a realizar fue, estudiar los manuales de mantenimiento de las unidades generadoras en la C.H.M.M.T. Analizando el principio de funcionamiento de las mismas.
- En la segunda semana que comprende la fecha del 31 de agosto al 7 de septiembre se hizo entrega de las especificaciones técnicas de las bombas a instalarse en el cárcamo de la segunda etapa, en esta misma semana se realizó un recorrido por el lugar donde serán instaladas las bombas y se hizo entrega de los planos, estando en el área de trabajo se realizó la comprobación de las medidas que en croquis representativo se presentan, como se muestra en la figura No. 17.
- En la semana tres (del 7 al 14 de septiembre), se realizaron los cálculos correspondientes de la estructura metálica que soportara las tres bombas, cálculos que fueron analizados y aprobados por el ingeniero a cargo del departamento mecánico.
- Durante la semana cuatro (del 14 al 21 de septiembre) se tuvo como actividad un recorrido de inspección por la central hidroeléctrica para identificar otras variables que pudiesen intervenir en los cálculos.
- A esta fecha se espera que el proveedor de las bombas las suministre para su instalación, y puesta en marcha.

## MARCO TEÓRICO

Para entender mejor este informe de residencia profesional es necesario definir algunos conceptos muy importantes para el desarrollo del mismo.

Propiedades de los fluidos.

Fluido: estado de la materia que no presenta resistencia a la deformación. Bajo esta Categoría se agrupan los líquidos y los gases.

Densidad: En física y química, la densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra *rho*  $\rho$  del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido

m= Masa del fluido

v=Volumen del recipiente

Presión: (símbolo  $p$ ) es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton (N) actuando uniformemente en un metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

Caudal: En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal.) por unidad de tiempo.

En el caso de que el flujo sea normal a la superficie o sección considerada, de área A, entre el caudal y la velocidad promedio del fluido existe la relación:

$$Q = A \cdot V \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

- $Q$  = Caudal;  $m^3/s$ )
- $A$  = Es el área;  $m^2$ )
- $V$  = Es la velocidad promedio;  $m/s$ )

Peso específico ( $\gamma$ )

El peso específico se define como el peso por unidad de volumen. En el sistema internacional sus unidades son  $[N/m^3]$ . Para un fluido homogéneo  $\gamma = m \times g / V = \rho \times g$ , mientras que para un fluido homogéneo, Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad.

Donde:

$M$  = Masa del fluido en (Kg).

$g$  = Constante gravitacional ( $m/s^2$ )

$V$  = Volumen en ( $m^3$ )

Volumen específico ( $v$ )

Se denomina volumen específico al volumen ocupado por la unidad de masa. Para un fluido homogéneo se define Como  $v = V/m = 1/\rho$ , mientras que en el caso general de un fluido homogéneo tendremos que hablar de su valor en un punto, En todos los casos,  $v = 1/\rho$ . Sus unidades en el sistema internacional son  $[m^3/kg]$ .

Donde:

$V$  = Volumen del fluido. ( $m^3$ )

$m$  = Masa del fluido (Kg)

Viscosidad.

La viscosidad refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos. La viscosidad está siempre presente en mayor o menor medida tanto en fluidos compresibles como incompresibles, pero no siempre es necesario tenerla en cuenta. En el caso de los fluidos perfectos o no viscosos su efecto es muy pequeño y no se tiene en cuenta, mientras que en el caso de los fluidos reales o viscosos su efecto es importante y no es posible despreciarlo. En el caso del agua a veces se habla del flujo del agua seca para el flujo no viscoso del agua y del flujo del agua mojada para el flujo viscoso.

Dilatación térmica:

Se caracteriza por el coeficiente de dilatación de volumen, que representa el aumento relativo del volumen producido por un aumento de la temperatura.

## BOMBAS

Definición:

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) en energía de flujo incompresible que se mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos.

## TIPOS DE BOMBAS

- Bombas de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial.
- Bombas volumétricas rotativas o roto estáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica.
- Bombas *roto dinámicas*: en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodetes con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbo máquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- Radiales o centrífugas: cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.
- Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
- Diagonales o helico centrífugas: cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

### SEGÚN EL TIPO DE ACCIONAMIENTO

- Electrobombas: Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.
- Bombas neumáticas: que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- Bombas de accionamiento hidráulico, como la bomba de ariete o la noria.
- Bombas manuales. Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

Se denomina MANIFULL a un bloque que posee integrado un circuito hidráulico, con sus correspondientes válvulas, ya sea adosadas o insertadas, y que responde a una o varias funciones específicas. Esta configuración presenta innumerables ventajas sobre el estilo clásico de conexionado entre componentes por medio de tuberías, mangueras y accesorios roscados. En el MANIFULL, el bloque es en si mismo el cuerpo de una o varias válvulas y al mismo tiempo es la tubería de conexión entre ellas, optimizando las pérdidas de carga y el espacio requerido.

## TIPOS DE FLUJOS

### Flujo permanente:

Se presenta cuando las características del flujo como son Velocidad y presión, permanecen constantes en el tiempo. Por ejemplo, el flujo en una Tubería conectada a un tanque de carga constante, como el que se muestra en la figura No.2.

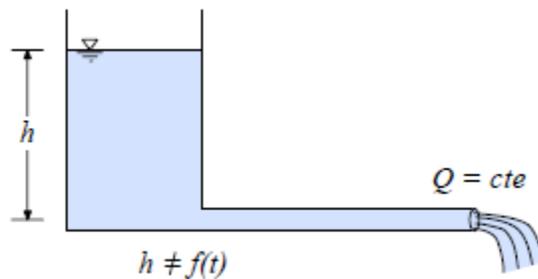


Figura 2. Donde la velocidad y las demás variables son constantes

### Flujo no permanente:

Ocurre cuando las condiciones de flujo cambian continuamente en el tiempo, como es el caso del vaciado de recipientes a través de un orificio, donde el nivel del líquido desciende continuamente hasta llegar al fondo y como consecuencia la velocidad y el gasto disminuyen hasta llegar a cero tal como se muestra en la figura No 3.

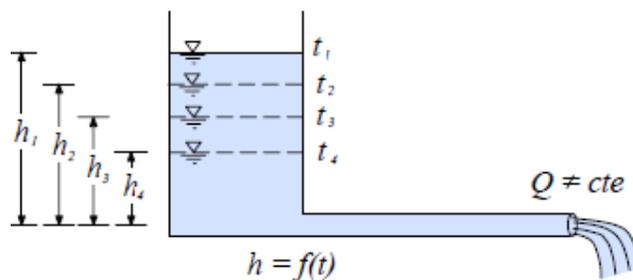


Figura 3. Donde las variables que participan tienden a cero con respecto al tiempo

Flujo transitorio:

Es un flujo de transición entre dos flujos permanentes. Por ejemplo, el cerrar parcialmente una válvula en una tubería por la que fluye un líquido a una velocidad, causa que el flujo cambie de su estado original a un estado final que depende de la abertura de la válvula. Entre el estado inicial y el final, ocurre el régimen de flujo transitorio y la velocidad cambia de  $V_o$  (velocidad inicial) a  $V_f$  (velocidad final).

Con respecto al comportamiento en el pasado se sabía de la existencia de 2 tipos de flujo, los cuales se diferenciaban por su comportamiento. G. H. L. Hagen en 1840, había identificado los principios y diferencias de estos dos tipos de flujo. Sin embargo, no fue sino hasta el periodo entre 1880 y 1884 en que Osborne Reynolds de la Universidad de Cambridge en Inglaterra, logró describirlos utilizando un aparato como el que se muestra esquemáticamente en la figura No 4.

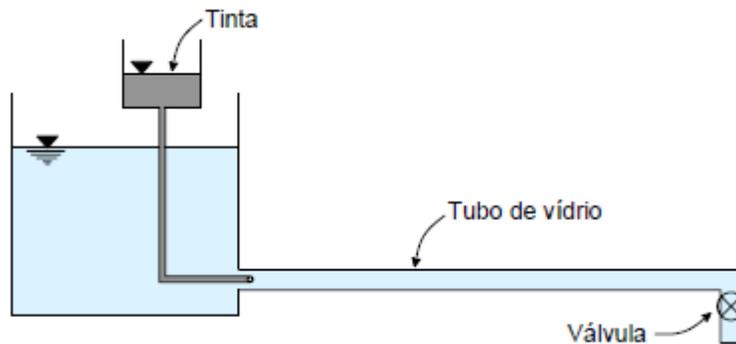


Figura 4. Dispositivo que muestra el comportamiento del fluido

Al manipular la válvula, Reynolds lograba controlar la velocidad del flujo en el conducto. Para velocidades bajas, observó que la tinta inyectada al caudal seguía una trayectoria recta sin mezclarse con el líquido del flujo, como se muestra en la figura No 5.

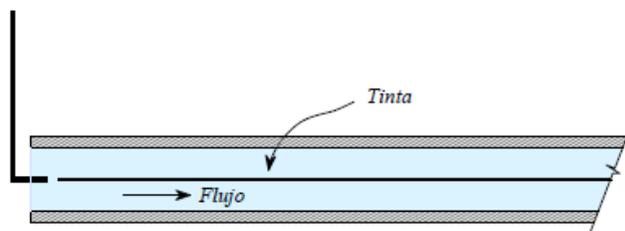


Figura 5. Agua y tinta con velocidad baja

Para velocidades intermedias, la trayectoria de la tinta comenzaba a ondular pero no se mezclaba con el líquido del flujo, como se muestra a continuación en la figura No 6.

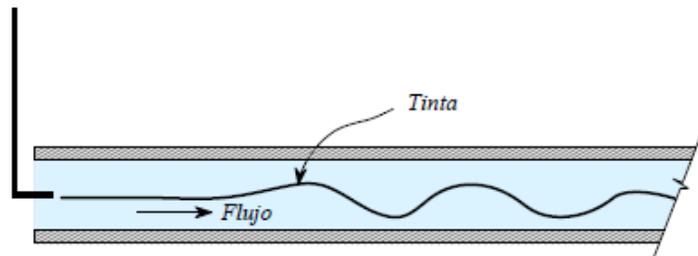


Figura 6. Agua y tinta con velocidad intermedias

Cuando las velocidades eran más altas, la trayectoria de la tinta se volvía más inestable y esta inestabilidad se acercaba más a la boquilla de inyección de tinta. Así mismo, en un punto dado la tinta se mezclaba con el fluido, como se muestra en la figura No 7.

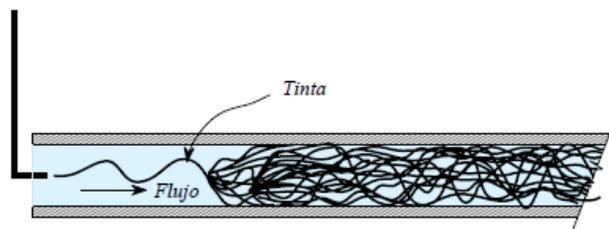


Figura 7. Agua y tinta con velocidad altas

Para velocidades todavía más grandes, la mezcla de tinta con el líquido del flujo se hacía más intensa y se estabilizaba en un punto cercano a la boquilla de extracción de tinta. Con base en estas observaciones, Reynolds definió los tipos de flujo de la siguiente forma:

#### Flujo Laminar:

Cuando la tinta no se mezclaba por lo que se desarrolla de manera ordenada como si estuviera compuesto de capas que se desplazan a diferentes velocidades. En una tubería, el flujo se desarrolla en forma de cilindros concéntricos, como se muestra en la siguiente figura No 8.

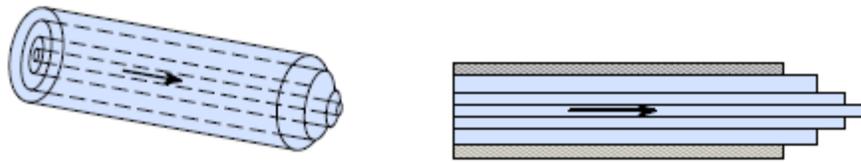


Figura 8. Flujo laminar

Flujo Turbulento:

Cuando la tinta se mezcla completamente, se presenta intercambio de “paquetes” de fluido entre las masas que se mueven a diferente velocidad y las partículas siguen una trayectoria irregular y caótica y no es posible distinguir patrones definidos de las velocidades por lo que se debe hablar de una velocidad promedio del flujo.

Número de Reynolds:

Osborne Reynolds demostró que se puede determinar si un flujo es laminar o es turbulento cuando se conoce la magnitud de un parámetro a dimensional que depende de la relación entre las fuerzas viscosas y las de inercia, es decir.

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Re=Numero de Reynolds (a dimensional)

D=Diámetro de la tubería. (m)

V=Velocidad del fluido. (m/s)

$\nu$ =Viscosidad cinemática. (m<sup>2</sup>/s)

Cuando las fuerzas de inercia son mayores que las fuerzas viscosas, el número de Reynolds resulta relativamente alto. En este caso, para números de Reynolds arriba de 3000, el flujo presenta régimen turbulento.

Para números valores del número de Reynolds inferiores a 2000, el tipo de flujo es laminar, lo cual significa que las fuerzas viscosas dominan. En el rango de 2000 a 3000, no es posible distinguir el tipo de flujo, por lo que se considera flujo de transición.

En un ambiente muy controlado, donde se tiene una cuidadosa minimización de las variaciones, es posible lograr un flujo laminar para valores del número de Reynolds de hasta 5000, sin embargo en la mayoría de los casos esto no sucede y por lo tanto para fines prácticos, se supone los siguientes intervalos que definen el tipo de flujo:

$Re \leq 2000$ , Flujo laminar

$Re \geq 4000$ , Flujo turbulento

$2000 < Re < 4000$ , Flujo crítico

### PÉRDIDAS DE CARGA

Un fluido, al desplazarse en el interior de un conducto, encuentra resistencia debido a la fricción con las paredes y entre las mismas partículas del fluido, así como a los obstáculos (válvulas, cambios de dirección, etc.) colocados a lo largo del conducto, lo que ocasiona, invariablemente, una disminución en la energía disponible. A esta disminución de energía se le conoce como pérdidas de carga. Estas pueden ser distribuidas (por fricción), ó locales (causadas por accesorios).

### PÉRDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS EN TUBERÍAS:

Pérdidas primarias:

Se producen cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería. Esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante.

Pérdidas secundarias:

Se producen en transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas, codos). En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías son importantes dos factores:

Pérdidas de carga por fricción:

Las pérdidas de carga por fricción se deben a viscosidad del fluido y a las colisiones, ya sea con entre partículas o con las paredes interiores del conducto. Cuando el régimen de flujo es laminar, la viscosidad tiene un gran efecto en la definición de pérdidas de carga por fricción, ya que entre las capas o cilindros concéntricos que forman este flujo, se desarrollan fuerzas que se oponen al movimiento. En flujo turbulento, la viscosidad tiene menor efecto ya que las colisiones ocurren con mayor frecuencia, debido a la naturaleza desordenada de este régimen de flujo.

Ecuación General (Darcy-Weisbach):

La pérdida de carga debida a la fricción ( $h_f$ ) depende del diámetro (D), la longitud (L) y la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) del conducto; así como de la velocidad media del flujo (V); la densidad ( $\rho$ ) y la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) del fluido y la aceleración de la gravedad (g). Por lo tanto, mediante un análisis dimensional se encuentra que.

$$h_f = \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} f \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

L=Longitud de la tubería.(m)

V=Velocidad del fluido. (m/s)

D=Diámetro de la tubería (m)

F=Coefficiente de fricción (a dimensional)

Potencia hidráulica:

Lo potencia se define como el trabajo realizado en la unidad de tiempo, o la rapidez con que se realiza un trabajo. En el sistema métrico gravitacional, las unidades de potencia son:  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}$ . Para calcular la potencia necesaria para trasladar un volumen (V<sub>0</sub>), de un fluido en un conducto, de la posición 1 a la 2, como el que se muestra en la figura No 9, se aplica la definición de potencia de la siguiente manera:

Si  $\Delta z$  es la diferencia de elevaciones entre los centros de gravedad del volumen (Vol), en las posiciones 1 y 2, por lo tanto el trabajo realizado ( $\delta$ ) al pasar de la posición 1 a la 2, será igual al producto del peso del volumen del fluido ( $\gamma \text{ Vol}$ ) por la diferencia de elevaciones, es decir

$$\delta = \gamma \text{ Vol } \Delta z \quad \text{Ecuación 5}$$

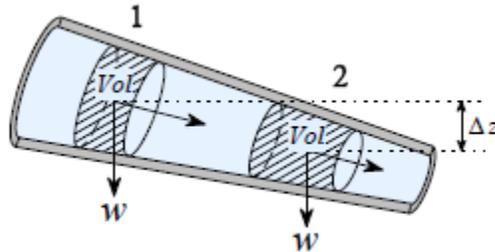


Figura 9. Variables para encontrar la potencia mecánica de una bomba

Donde:

$\delta$  = Trabajo realizado (N.m)

$\gamma$  = Peso específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ )

Vol = Volumen del fluido ( $\text{m}^3$ )

$\Delta z$  = Diferencia de elevaciones (m)

Al dividir esto entre el tiempo se obtiene una expresión para la potencia

$$p = \frac{\delta}{t} = \frac{\gamma \text{ Vol } \Delta z}{t} \quad \text{Ecuación 6}$$

Pero como  $\frac{\text{Vol}}{t} = Q$  (caudal) Ecuación 7

Entonces  $P = \gamma Q \Delta z$  Ecuación 8

## TEORIA DE VIGAS

En ingeniería y arquitectura se denomina viga, palabra proveniente del latín viga, a un elemento estructural lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

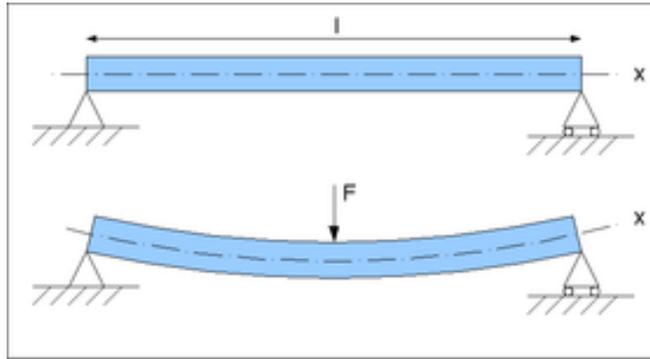


Figura 10. Vigas y apoyos

Cargas externas: un cuerpo puede estar sometido a dos tipos de cargas externas es decir las fuerzas de superficie o las fuerzas de cuerpo tal y como se muestra en la figura No 11.

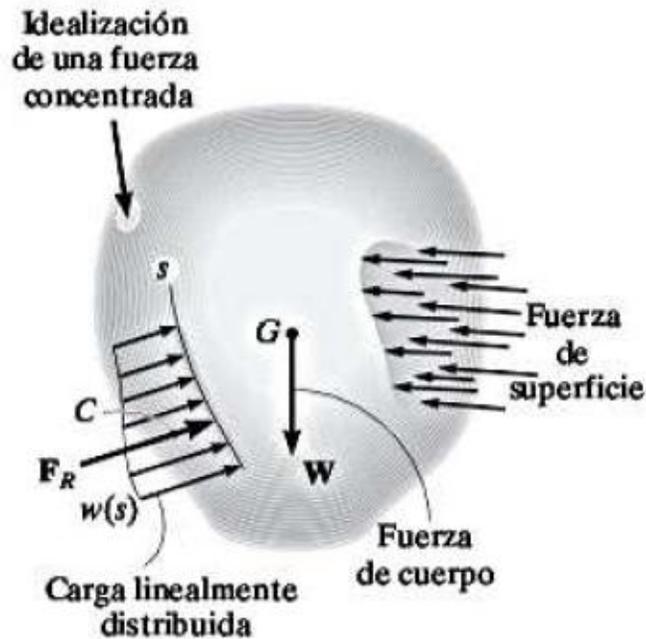


Figura 11. Fuerzas que intervienen en un cuerpo

Fuerzas de superficie. Las fuerzas de superficie son causadas por el contacto directo de un cuerpo con la superficie de otro. En todos los casos estas fuerzas están distribuidas sobre el área de contacto entre los cuerpos. Si esta área es pequeña en comparación con el área de la superficie total del cuerpo, entonces la fuerza de superficie puede idealizarse como una sola fuerza concentrada que se aplica a un punto.

Fuerzas de cuerpo. Una fuerza de cuerpo se desarrolla cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro sin contacto físico directo entre estos.

Reacciones en los apoyos. Las fuerzas de superficie que se desarrollan en los soportes o puntos de contactos entre los cuerpos se llaman reacciones en la siguiente figura se muestran las reacciones de algunos elementos.

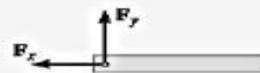
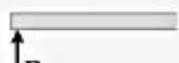
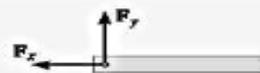
Tipo de conexión	Reacción	Tipo de conexión	Reacción
 <p>Cable</p>	 <p>Una incógnita: <math>F</math></p>	 <p>Pasador externo</p>	 <p>Dos incógnitas: <math>F_x, F_y</math></p>
 <p>Rodillo</p>	 <p>Una incógnita: <math>F</math></p>	 <p>Pasador interno</p>	 <p>Dos incógnitas: <math>F_x, F_y</math></p>
 <p>Soporte liso</p>	 <p>Una incógnita: <math>F</math></p>	 <p>Soporte fijo</p>	 <p>Tres incógnitas: <math>F_x, F_y, M</math></p>

Figura 12. Tipos de reacciones

Ecuaciones de equilibrio:

Las ecuaciones de equilibrio para una viga son la aplicación de las ecuaciones de la estática a un tramo de viga en equilibrio. Las fuerzas que intervienen sobre el tramo serían la carga exterior aplicada sobre la viga y las fuerzas cortantes actuantes sobre las secciones extremas que delimitan el tramo. Si el tramo está en equilibrio eso implica que la suma de fuerzas verticales debe ser cero, y además la suma de momentos de fuerza a la fibra neutra debe ser cero en la dirección tangente a la fibra neutra. Estas dos condiciones solo se pueden cumplir si la variación de esfuerzo cortante y momento flector están relacionada con la carga vertical por unidad de longitud.

Momento flexionante:

El momento flexionante es causado por las cargas externas que tienden a flexionar el cuerpo respecto a un eje que se encuentra dentro del plano del área.

## MATERIALES

Los materiales utilizados para construir sólidos con función resistente son muy diversos. Se emplean desde materiales que se encuentran en la naturaleza como la madera o la piedra, hasta los más modernos elaborados por el hombre, como los materiales reforzados con fibras o el acero y aleaciones metálicas. En estructuras de edificación e industriales, los materiales más utilizados son el acero y el hormigón. El acero es un producto industrial obtenido a partir de mineral de hierro, mediante sucesivos procesos de extracción y refinado (alto horno, convertidor... etc). El acero es básicamente hierro con una proporción de carbono menor que el 2% (el hierro con mayor proporción de carbono suele denominarse "fundición", y presenta propiedades distintas). El acero para estructuras es "acero extra dulce", de bajo contenido en carbono (del orden del 0.2%).

## DEFORMACIÓN

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, está tiende a cambiar la forma y tamaño del cuerpo. Estos cambios se conocen como deformación la cual puede ser muy visible o casi imperceptible.

## FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS

Se dice que las vigas están diseñadas con base en la resistencia, de modo que puedan soportar la fuerza cortante interna y el momento interno desarrollados en toda su longitud. Para diseñar una viga de esta manera es necesario aplicar las formulas de la fuerza cortante y la flexión siempre que el material sea homogéneo y tenga un comportamiento elástico lineal. Anuqué algunas vigas pueden estar sometidas a una fuerza axial, los efectos de esta fuerza suelen no tomarse en cuenta durante el diseño porque el esfuerzo axial es generalmente mucho menor que el esfuerzo desarrollado por cortante y flexión.

Como se muestra en la figura No 13, las cargas externas sobre una viga crearan esfuerzos adicionales en la viga justo debajo de la carga. En particular se desarrollara un esfuerzo de compresión  $\sigma_y$ , además del esfuerzo flexionante  $\sigma_x$  y el esfuerzo cortante  $T_{xy}$  que se analizaron anteriormente mediante el uso de métodos avanzados de análisis, como los que se tratan en la teoría de la elasticidad es posible demostrar que  $\sigma_y$  disminuye rápidamente a través del peralte de la viga, y para la mayoría de las relaciones claro-peralte de las vigas utilizadas en la practica de la ingeniería, el valor máximo de  $\sigma_y$  en general, representa solo un pequeño porcentaje en comparación con el esfuerzo flexionante  $\sigma_x$ , es decir  $\sigma_x \gg \sigma_y$ .

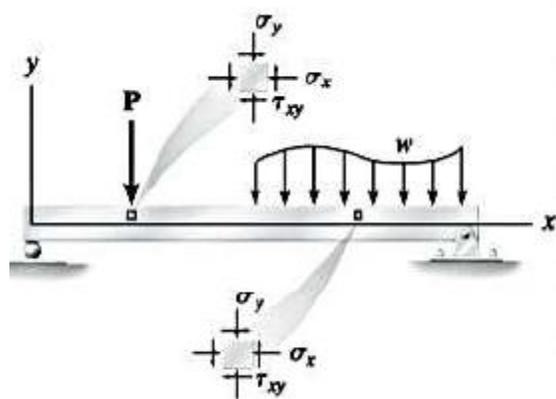


Figura 13. Esfuerzos y tipos de cargas en una viga

La mayoría de las vigas están fabricadas de materiales dúctiles y cuando este es el caso, generalmente no es necesario trazar las trayectorias de esfuerzo para la viga. En cambio, solo hay que asegurarse que el esfuerzo flexionante y el y el esfuerzo cortante reales en la viga no excedan los esfuerzos flexionante y cortante permisibles para el material, tal como lo definen los códigos estructurales o mecánicos. En la mayoría de los casos el claro suspendido de la viga será relativamente largo, de modo que los momentos internos se vuelven grandes. Cuando esto ocurre, el ingeniero deberá considerar primero un diseño basado en la flexión y después comprobar la resistencia al cortante. Un diseño por flexión requiere la determinación del modulo de sección de la viga, una propiedad geométrica que es el cociente de I sobre C,  $S=I/C$ . Si se usa la formula de la flexión  $\sigma=MC/I$ , se tiene

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{per}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Aquí M se determina a partir del diagrama de momento de la viga, y el esfuerzo flexionante permisible  $\sigma_{per}$ , se especifica en un código de diseño. En muchos casos el peso aun desconocido de la viga será pequeño en comparación con las cargas que la viga debe soportar, y puede no tomarse en cuenta. Sin embargo si el momento adicional causado por el peso debe incluirse en el diseño, se hace una selección de S para que exceda ligeramente a  $S_{req}$ .

Una vez que se conoce  $S_{req}$ , si la viga tiene una forma simple en su sección transversal como un cuadrado, un circulo o un rectángulo de proporciones conocidas, sus dimensiones pueden determinarse directamente de  $S_{req}$ , puesto que  $S_{req}=I/C$  sin embargo si la sección transversal esta echa de varios elementos, como el caso de una sección en I de ala ancha entonces puede determinarse un numero infinito de dimensiones para el alma y las alas que satisfagan el valor de  $S_{req}$ . No obstante, en la practica los ingenieros eligen una viga particular que cumpla con el requisito de  $S > S_{req}$  de un manual que enlista los perfiles estándar de los fabricantes. Con frecuencia, en estas tablas pueden seleccionarse varias vigas que tienen el mismo modulo de sección. Si las deflexiones no están restringidas, por lo general se elige una viga que tenga menor área en su sección transversal, puesto que requiere menos material para su fabricación y por consiguiente, es más ligera y más económica que las demás.

## RESULTADOS

El presente informe comprende los cálculos para las bombas centrífugas que se instalarán en el cárcamo de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

Por lo cual se hará un solo cálculo de la bomba centrífuga ya que las otras dos serán de la misma potencia y capacidad.

Cálculo para la selección de la bomba Centrífuga.

Datos solicitados:

$Q=178.8 \text{ m}^3/\text{s}$  , Eficiencia=80%, Agua de río

C.D.T=53 Mts (173.9 Ft).

Partiendo de la ecuación de Bernoulli (conservación de energía mecánica) tenemos:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 + EA = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + \text{perdidas} \quad \text{Ecuación 10}$$

Debido a que el cárcamo es abierto, se considerará que ambas presiones  $P_1$  y  $P_2$  serán cero, mientras las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  serán de la misma forma. Por lo tanto la ecuación nos queda de la manera siguiente.

$$EA = Z_2 - Z_1 + \text{Perdidas} \quad \text{Ecuación 11}$$

Ahora se eliminarán las pérdidas en virtud de que la descarga de líquido será al río. Así que:

$$EA=53 \text{ m.}$$

Tomando en cuenta la ecuación de la potencia se elabora el cálculo de la siguiente manera:

$$P = \frac{9810 \cdot 0.178 \cdot 53}{0.8} = 116.204355 \text{ Kw .convirtiendo ahora en Hp tenemos: (Hp=154.9084).}$$

El siguiente esquema muestra el cárcamo de bombeo con descarga hacia el río.

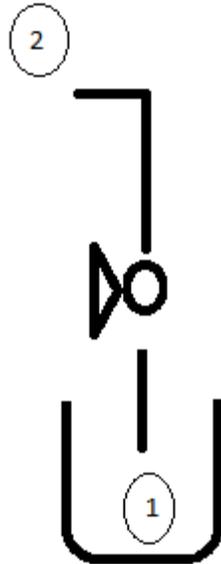


Figura 14. Cárcamo de bombeo

Como se puede observar la potencia que se requiere para que la bomba pueda descargar el agua al río es de 154.9084 HP.

Una vez realizado el cálculo se solicitaron al proveedor las tres bombas con la capacidad y potencia obtenida, quien presento ante dicha propuesta la siguiente bomba.

#### EQUIPO SELECCIONADO

Bomba vertical tipo turbina, marca BNJ, reg. Modelo 14, escalonamiento de 3 etapas lubricación agua, compuesta por:

Descripción:

Cabezal de descarga tipo sobre superficie modelo 16 ½" x 12" x 12", lubricación agua, fabricado en placa de acero ASTM A-36, descarga y succión bridada de 12 pulgadas de diámetro, adecuado para soportar motor eléctrico de 200 HP. Incluye flecha de ajuste fabricada en acero inoxidable AISI 416, pintura epoxica a base de alquitrán de hulla. Tornillería en acero ASTM A-193 grado 5.

Con una columna de succión de 7.62 metros de longitud, columna roscada lubricación mismo liquido de 30.48 cms. (12 pulg.) de diámetro fabricada en acero al carbón ASTM A-53, grado 5 con costura, incluye pintura epoxica a base de alquitran de hulla, flecha de transmisión de 42.86 mm. (1 11/16 plg.) de diámetro fabricada en acero inoxidable AISI 416., tornillería en acero ASTM A-193 grado. 5.

Cuerpo de tazones tipo turbina modelo 14 escalonamiento de 3 etapas fabricado en fierro fundido ASTM A-48, impulsor en bronce SAE 40, la flecha de la bomba es en acero inoxidable AISI 416. Incluye pintura epoxica a base de alquitrán de hulla. Tornillería en acero ASTM A-193 grado 5.

Colador tipo canasta de 30.48 cms. (12 pulgadas de diámetro fabricado en acero galvanizado).

A continuación se muestra la curva de operación de la bomba seleccionada.

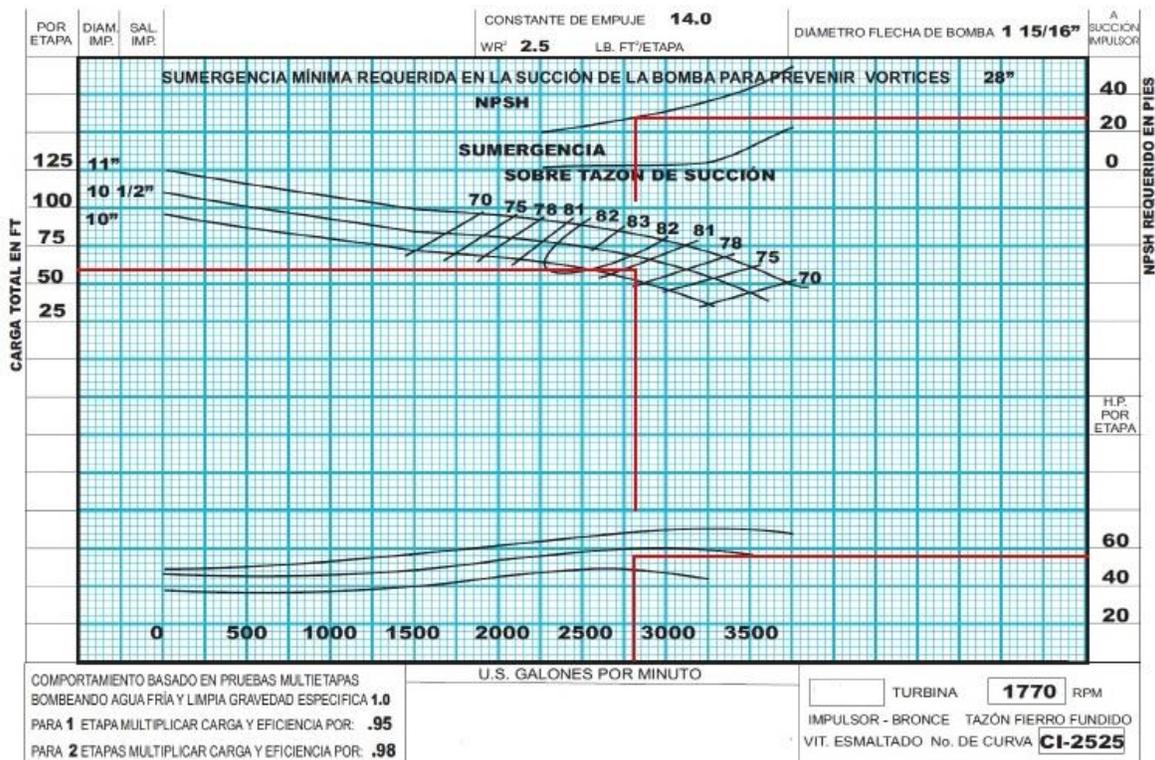


Figura 15. Curva de operación de la bomba

**Motor eléctrico vertical:**

Motor eléctrico vertical marca US de inducción tipo jaula de ardilla abierto a prueba de goteo wp-1, de 200 hp., trifásico, 60 Hz, 460 volts, 4 polos ( 1800 rpm ), alto empuje axial de 9,800 lbs., flecha hueca, con base estilo “ p “ de 16 ½ pul., eficiencia Premium, enfriado y lubricado con aceite el balero superior, con grasa el balero inferior, factor de servicio de 1.15, para operar a 60 °c de temperatura ambiente máxima, tipo rus. Con trinquete de no retroceso, armazón H447TP, aislamiento clase “H” para operar en ambientes húmedos y altas temperaturas. Incluye resistencias calefactoras.

**Centro de control de motores:**

Centro de control de motores GENERAL ELECTRIC, diseñado bajo normas NEMA, cableado NEMA clase i-tipo BD; con secciones de 90” de altura, gabinete nema 1g (con empaques), 460v, 3 fases, 4 hilos, 60Hz, con Bus principal horizontal de 1200 Amperios.

**Opciones incluidas:**

El centro de control de motores estará formado por:

Un interruptor principal termo magnético fijo operación manual tipo SPECTRA de 1000 Amperios, 3 arrancadores de tensión tipo autotransformador de 200 Hp, tamaño nema 5 marca G.E con interruptor principal de 400 Amperios., el CCM (cuarto de control de motores), será construido en (4) secciones (1) sección de 20” de frente x 20” de fondo x 90” de altura y las otras tres secciones serán de 30” de frente x 20”de fondo x 90” de altura.



Croquis representativo del montaje de bombas centrífugas.

Dimensiones para la colocación.

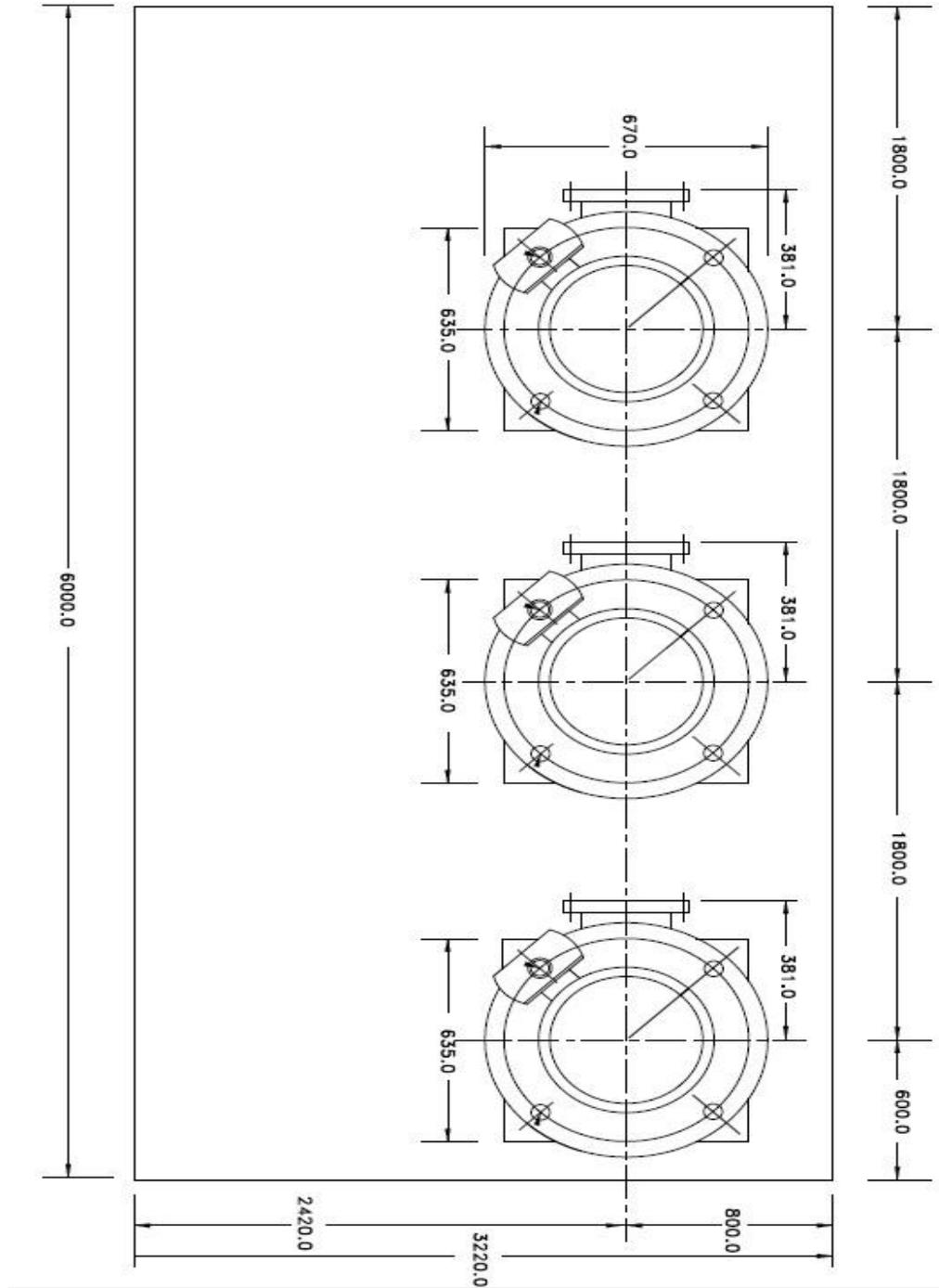


Figura 17. Croquis representativo

El esquema siguiente muestra la vista del anclaje de las bombas centrifugas.

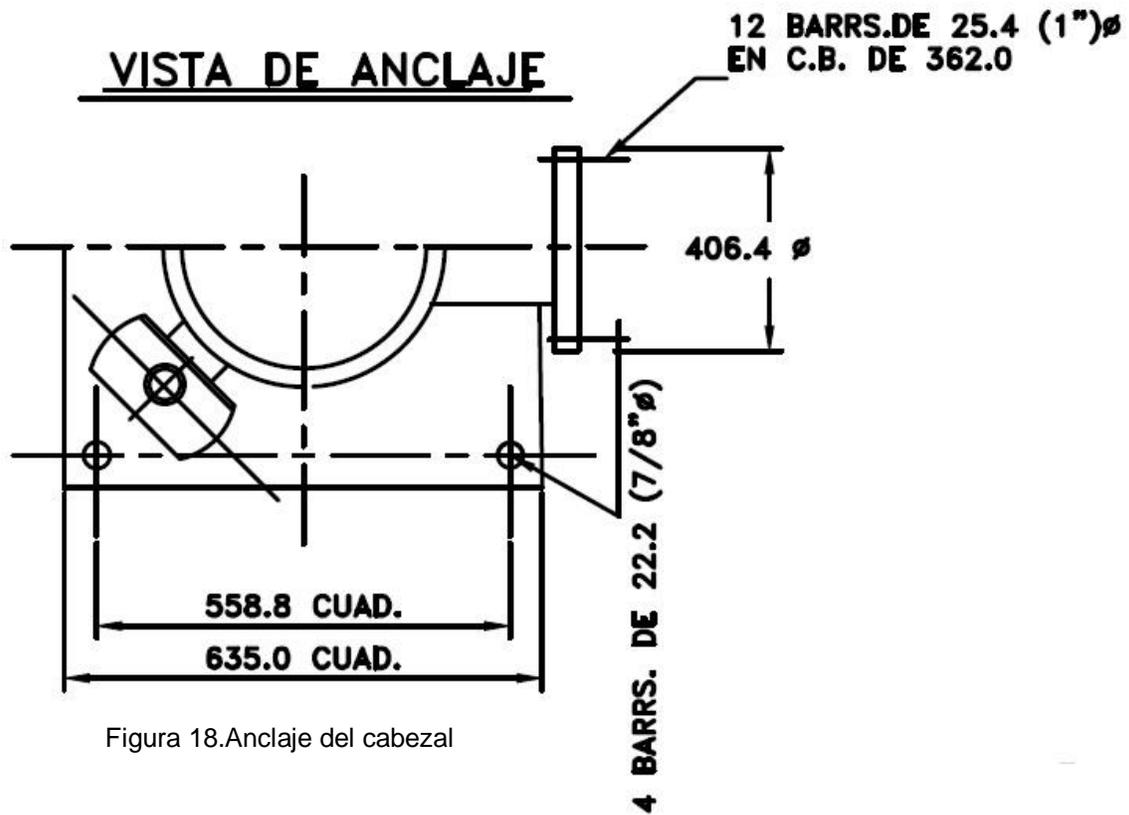


Figura 18. Anclaje del cabezal

Pesos aproximados

Peso cuerpo. Bomba-----380 kg

Peso columna-----850 kg

Peso cabezal-----220 kg

Peso motor -----1050 kg

Peso total-----2500 kg

## Diseño de la estructura

El diseño de la estructura consiste en utilizar la menor cantidad de materiales y un buen diseño que se adapte a los espacios establecidos.

### Estructura seleccionada

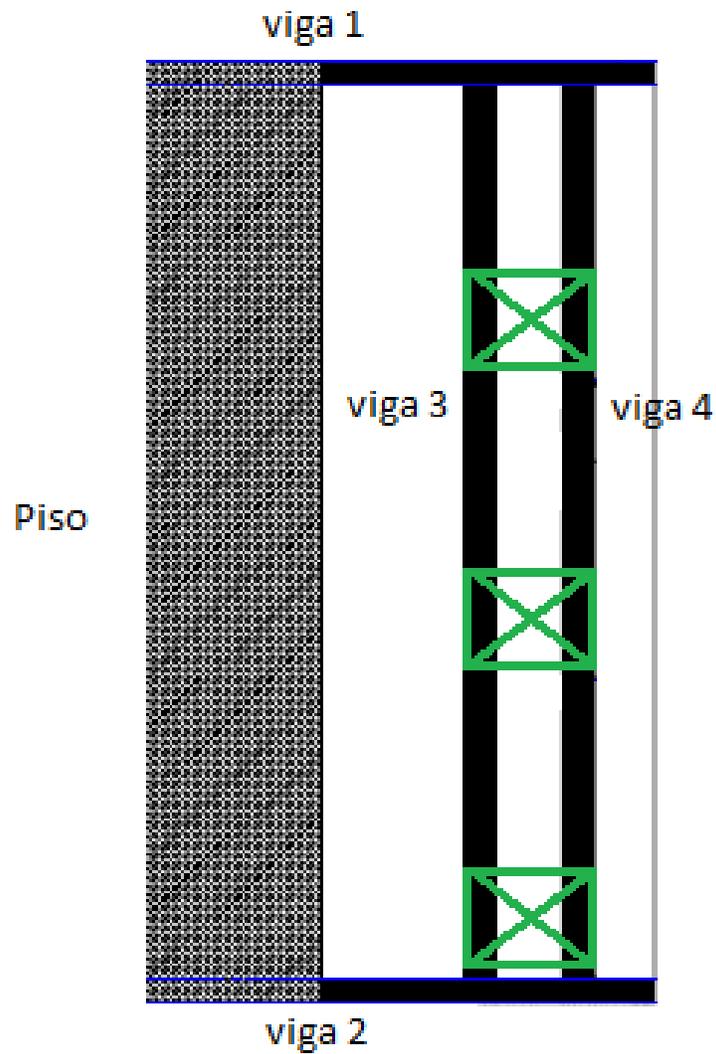


Figura 19. Estructura de la soportería

## Calculo de vigas

Para el siguiente cálculo deben de considerarse tres cargas puntuales de 2500 kg, esto es el peso de las bombas. Además se debe considerar que las vigas tienen que soportar herramientas, materiales y personal que efectúe trabajos de instalación del sistema o mantenimiento de los mismos.

Pesos

Tres bombas=7500 kg

Materiales personal y herramientas y estructura= 4000 Kg

Total=11.5 Ton (112.815 KN)  $S_y=250\text{Mpa}$

Los 112.815 KN que son el peso de estructura, herramientas, materiales y personal. Será dividido entre dos para suponer que la viga 3 y 4 cargaran lo mismo, colocando la carga en el centro de la viga y a la mitad de su longitud debido a que ahí se tiene la flexión máxima.

Viga 3 = viga 4

D.C.L

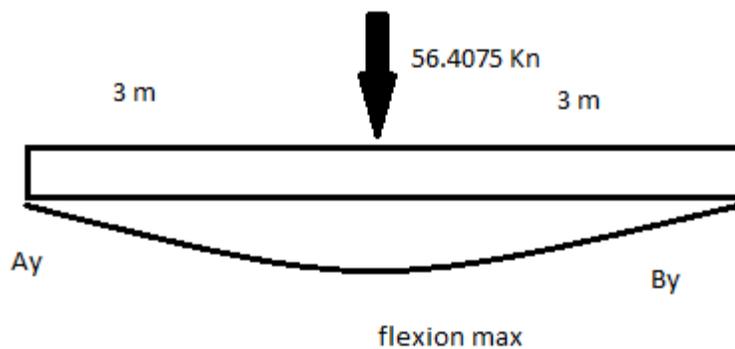


Figura 20. Fuerzas que intervienen en el diseño

$$\sum M_a = 0 \quad -56.4075 (3) - B_y (6) = 0 \quad B_y = 28.20375 \text{ KN}$$

$$\sum F_y = 0 \quad -56.4075 + A_y + B_y = 0 \quad A_y = 28.20375 \text{ KN}$$

Como la carga es estática se dividirá entre 2 el cociente de el esfuerzo de cedencia a tensión y compresión será:

$$\sigma_d = S_y / 2 \quad \text{por lo tanto} \quad \sigma_d = 250 / 2 = 125 \text{ Mpa}$$

donde :

$\sigma_d$  = Esfuerzo de diseño.

$S_y$  = Esfuerzo de cedencia.

$S$  = Modulo de sección (mm)

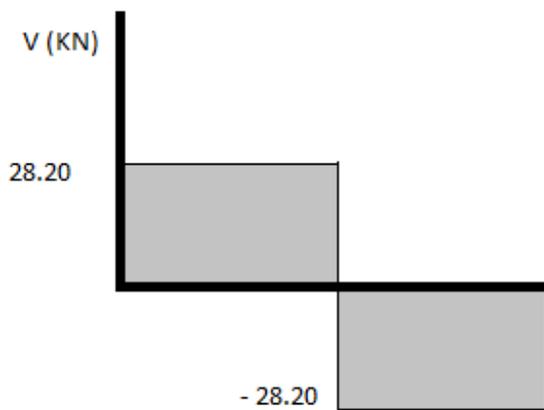


Figura 21. Diagrama de fuerza cortante

El momento máximo es el área que encierra la curva y es  $28.20 \text{ KN} \times (3 \text{ m}) = 84.61125 \text{ KN.m}$ .

Por lo tanto.

$$S = M_{\max} / \sigma_d \quad S = 84.61125 \text{ KN} \cdot \text{M} / 125 \text{ Mpa} = 6.7689 \times 10^4 \text{ m}^3$$

$$S = 676.89 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Ahora bien de la tabla del libro de Hibbeler de la octava edición del apéndice B se obtiene el perfil W 250 X 58

Calculo de viga 1 = viga 2

Para el siguiente cálculo se supondrá que las vigas tres y cuatro serán soportadas por las vigas uno y dos tal como se muestra la configuración en la figura 18. Por lo tanto las reacciones de los apoyos de las vigas tres y cuatro serán puestas sobre la viga uno y dos tal como se muestra en la figura No 21.

D.C.L

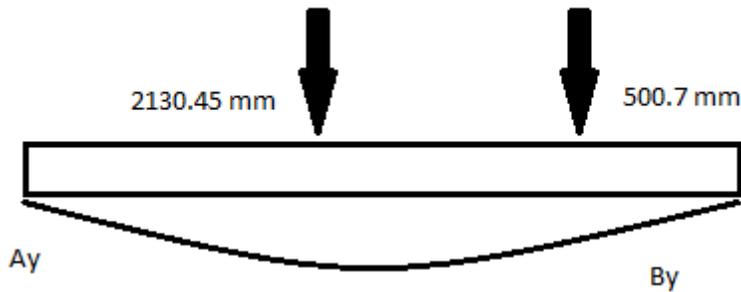


Figura 22. Fuerzas que intervienen en el diseño

$$\sum M_a=0 \quad - 28.20375 (2.13045) - 28.20375 (2.7193) + B_y (3.22) = 0 \quad B_y = 42.478613 \text{ KN}$$

$$\sum F_y=0 \quad -56.4075 + A_y + B_y =0 \quad A_y = 13.9288 \text{ KN}$$

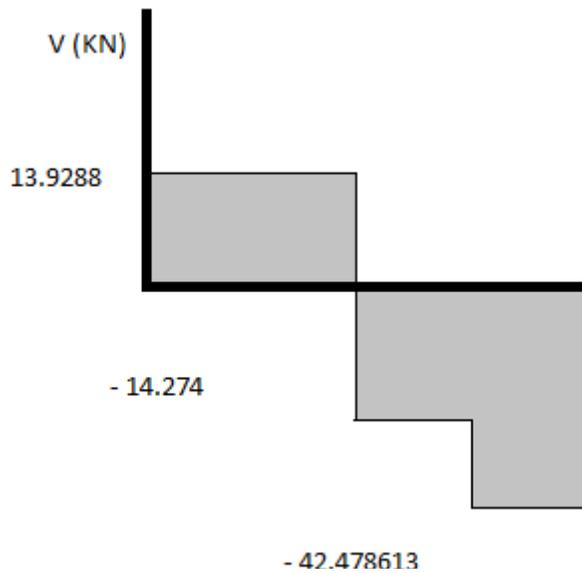


Figura 23. Diagrama de fuerza cortante

El momento máximo es el área que encierra la curva y es 13.9288 KN (2.13045 m) = 29.67461196 KN .M

Por lo tanto.

$$S = M_{\max} / \sigma_d \quad S = 29.67461196 \text{ KN} \cdot \text{M} / 125 \text{ Mpa} = 2.373968 \times 10^4 \text{ m}^3$$

$$S = 237.3968 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Ahora bien de la tabla del libro de Hibbeler de la octava edición del apéndice B se obtiene el perfil W 250 X 28

El diseño de tornillería no se realizó debido a que la bomba trae consigo todos los elementos para su instalación que enseguida se presentan.

36 Tornillos de 5/8" x 1 3/4" acero ASTM grado 5.

144 tornillos de 5/8" x 3 1/2" con tuerca, tubo-porta chumacera-tubo, acero ASTM grado 5.

36 tornillos de 5/8" x 1 1/2" tubo-cabezal de descarga, acero ASTM grado 5.

12 Tornillos de 5/8" x 1 3/4" motor y cabezal de descarga, acero ASTM grado 5.

Las siguientes imágenes muestran el equipo seleccionado para instalarse en la C.H.M.M.T



Figura 24. Descarga del equipo seleccionado



Figura 25. Tres Bombas con canastilla

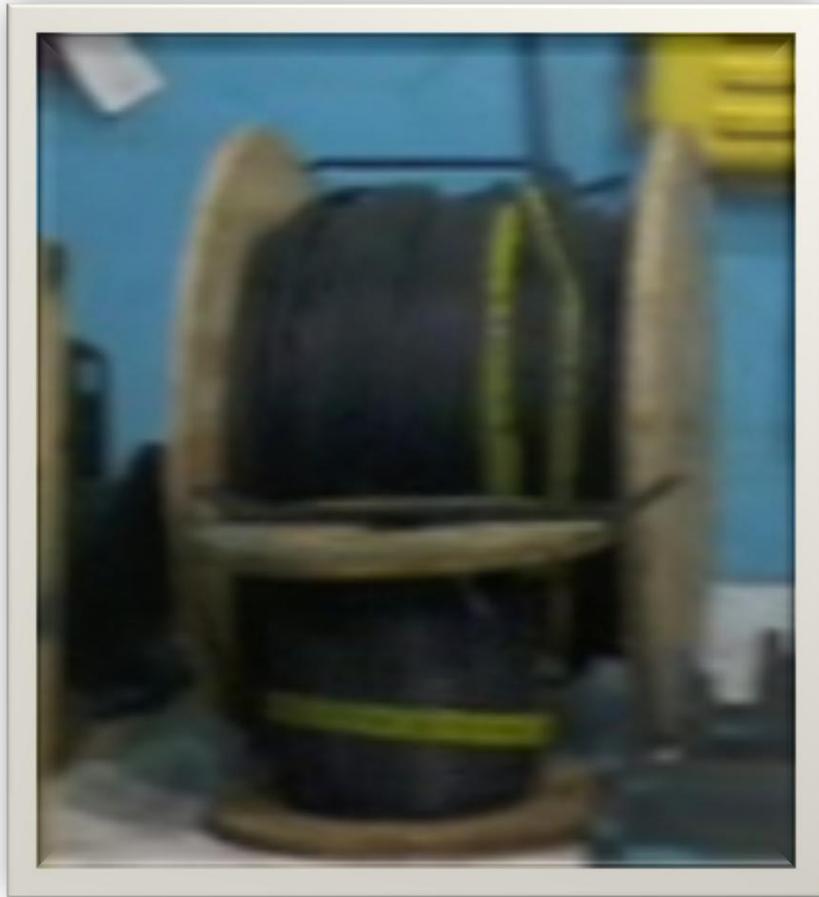


Figura 26. Cable eléctrico

EQUIPO QUE SE RETIRO DEL CÁRCAMO DE LA C.H.M.M.T



Figura 27. Tubería de descarga



Figura 28. Desmantelamiento de cables



Figura 29. Bomba usada, retirada del cárcamo

Una vez realizado el desalojo del equipo usado, se procedió al armado de la estructura metálica que soportara las tres bombas.



Figura 30. Armado de estructura metálica



Figura 31. Bomba y cabezal en el área, preparándose para su instalación



Figura 32. Motores eléctricos para bombas centrifugas.



Figura 33. Cabezal y tubería de descarga instalados.



Figura 34. Tornillería para cimentación de las bombas centrifugas

**Nota:**

No se presenta la instalación completa de las tres bombas, debido a los atrasos ocurridos en fechas pasadas, hasta el día de hoy 07/12/2015, se presenta un avance del 60 por ciento, con instalación de las 3 bombas, tubería de succión y descarga, Armado de estructura metálica y cableado eléctrico para el control de los motores. Faltando por concluir la instalación de los tres motores eléctricos.

## **CONCLUSIÓN**

El desarrollo del proyecto innovación del sistema de achique de la segunda, se realizó de manera exitosa a lo planeado. Debido a que los cálculos y el personal que realizó la instalación fueron buenos. Por otra parte es importante resaltar que con este proyecto se atiende a una problemática que desde hace algunos meses se venía presentando. Por lo tanto el trabajo realizado de las bombas presenta beneficios importantes como son: disminución en el tiempo de achique del caracol (tubería de presión) y el desalojo eficiente del agua al río.

## **RECOMENDACIONES:**

Supervisar que el personal que realiza la instalación de las bombas utilice el equipo de seguridad y mantener limpio el espacio de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- *"Timoshenko Resistencia de Materiales"*. J.M. Gere. / Edit. Thomson
2. - *"Mecánica de Materiales"*. F.P. Beer, E.R. Johnston, J.T. DeWolf, D.F. Mazurek. / Edit. McGraw Hill
- 3.- *"Mecánica de Sólidos"*. E.P. Popov. / Edit. Pearson Educación
- 4.- *"Teoría de las Estructuras"*. S.P. Timoshenko, D.H. Young. / Edit. Urmo
- 5.- *"Cálculo de Estructuras"*. R. Argüelles. / Edit. ETS Ingenieros de Montes - Madrid
- 6.- *"Mecánica de materiales"* octava edición. Russell C. Hibbeler/Edit.pearson
- 7.- *"Mecánica de los fluidos"* tercera edición Victor L. Streeter
- 8.- *"Mecánica de los fluidos"*shames , I.H.Edit.\_Del Castillo,S.A.1970.