



INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Proyecto:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DÚPLEX DE ALIMENTACIÓN DE ACEITE PARA IZAR
LA MASA ROTATIVA DE LAS UNIDADES TURBO GENERADORAS”**

Empresa:

**Comisión Federal de Electricidad.
Central hidroeléctrica Belisario Domínguez**

RESIDENTE:

JHONATAN TOMAS AVENDAÑO GALLARDO

NUMERO DE CONTROL:

10270742

CARRERA:

INGENIERA MECÁNICA

PERIODO:

AGOSTO-DICIEMBRE

TUXTLA GUTIÉRREZ. CHIAPAS,

DICIEMBRE 2014.

CONTENIDO

NOMENCLATURA.....	III
LISTA DE TABLAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	IV
1.-INTRODUCCION	1
2.-JUSTIFICACION.....	3
3.- OBJETIVOS.....	3
3.1-GENERAL.....	3
3.2-ESPECIFICOS.....	3
4.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO.....	4
4.1 HISTORIA	4
4.2 HIDROLOGÍA.....	5
4.3 GEOLOGÍA.....	7
4.4 CORTINA.....	8
4.5 VERTEDOR.....	9
4.6 NOMBRE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	11
4.7 OBRA DE TOMA.....	11
4.8 CASA DE MAQUINAS.....	12
4.9 TURBINA.....	14
5.- PROBLEMAS A RESOLVER CON SU RESPECTIVA PRIORIZACIÓN.....	23
6.- ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23
7.- FUNDAMENTO TEORICO.....	24
7.1 ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	26
7.2 ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA.....	30
7.3 NUMERO DE REYNOLDS.....	31
7.3.1 Flujo Laminar y Turbulento.....	32
7.3.2 Ecuación de Darcy-Weisbach.....	35
7.4 PÉRDIDAS MENORES.....	37
7.5 REDES DE TUBERÍA EN SERIE.....	40
7.6 POTENCIA Y EFICIENCIA.....	41
7.6.2 Gravedad Específica.....	42
7.7 SUMARIO.....	43
8. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	43
9.-RESULTADOS.....	58
ESQUEMA GENERAL DE CIRCULACIÓN DE ACEITE DE CHUMACERAS.....	59
10.-CONCLUSIÓN	62
11.-REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63

12.-ANEXOS.....	64
-----------------	----

NOMENCLATURA

P	Presión (N/m ²)
A	Área (m ²)
F	Fuerza(N)
Re	Número de Reynolds
L	Longitud (m)
ρ	Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
m	Masa (kg)
v	Volumen (m ³)
ν	Viscosidad cinemática $\left(\frac{m^2}{s}\right)$
V	Velocidad del Fluido (m/s)
μ	Viscosidad del Fluido $\left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)$
Q	Caudal (m ³ /s)
EP	Energía potencial. (J)
W	Peso del elemento(N)
Z	Distancia de la elevación (m)
E_c	Energía cinética (J)
γ	Peso específico(N/m ³ .)
g	Gravedad (m/s ²)
h_R	Perdida de energía en el sistema (m.c.a)
h_L	Perdida de carga debido a la fricción (m.c.a)

f	Factor de fricción (Adimensional)
D	Diámetro (m)
K	Coeficiente de pérdida

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1** *Datos hidrológicos de la C.H.B.D*
- Tabla 2** *Dimensiones de casa de máquinas C.H.B.D.*
- Tabla 3** *Principales elevaciones de casa de máquinas.*
- Tabla 4** *Especificaciones de las turbinas instaladas en casa de máquinas.*
- Tabla 5** *Valores de diseño de la rugosidad de tubos (Fuente: Robert L. Mott.)*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** *El logo de la CFE, Un generador y las torres de Transmisión y distribución.*
- Figura 2** *Forma del Vaso de la Angostura*
- Figura 3** *Localización del vaso de Angostura en el Estado de Chiapas; fuente Google Earth.*
- Figura 4** *Imagen rescatada del archivo de la central donde se observa cómo se plasmó el lugar donde quedaría la cortina sobre el cañón de la Angostura.*
- Figura 5** *La cortina de Angostura, actualmente es parte de la carretera de Tuxtla Gutiérrez a la población de Venustiano Carranza y las zonas cañeras del altiplano chiapaneco.*
- Figura 6** *Compuertas de vertedores*
- Figura 7** *Salto de esquí.*

Figura 8 Casetas de control de obra de toma y grúa pórtico para operar las compuertas auxiliares.

Figura 9 Casa de máquinas 1ª. Etapa

Figura 10 Casa de máquinas 2ª etapa

Figura 11 Distribuidor

Figura 12 Rodete

Figura 13 Servomotores individuales

Figura 14 Reunión de inicio de jornada. Departamento mecánico.

Figura 15 Taller interno del departamento mecánico.

Figura 16 Elemento de fluido en una tubería. (Fuente: Robert L. Mott. Pág. 166)

Figura 17 Energía de fluido. (Fuente: Robert L. Mott. Pág. 166)

Figura 18 Elemento de fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli. (Fuente: Robert L.Mott.)

Figura 19 Diagrama de Moody. (Fuente: Robert L. Mott.)

1.-INTRODUCCION

Las necesidades humanas son cada vez mayores, día a día crecen más las demandas de nuevos servicios. Los avances tecnológicos ocurren a una tasa acelerada. Sin embargo existen sectores en los cuales la tecnología no ha cambiado mucho desde que apareció.

La generación de energía eléctrica sigue siendo producida por turbinas a vapor y/o por turbinas hidroeléctricas. Con el paso de los años las máquinas han sido perfeccionadas y han mejorado los procesos. Ahora que en estos tiempos la optimización de recursos es tan importante, los equipos deben ser diseñados con la más alta eficiencia.

En el caso de los equipos de las turbinas de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez, la tecnología es de la década de los 70's. Aprovechando los avances tecnológicos ocurridos desde entonces se pueden optimizar en la actualidad la operación de sus sistemas auxiliares.

La central hidroeléctrica Belisario Domínguez con sus 900 MW de capacidad instalada, participa en el suministro de energía eléctrica de la red nacional. Siendo así que se requiera que sus cinco unidades generadoras trabajen al 100% de su capacidad con los más altos índices de confiabilidad operativa.

Para lograr esto se requiere que todos los componentes de las turbinas trabajen dentro de los parámetros de diseño establecidos.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa productiva del Estado, encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el territorio mexicano.

La CFE abastece cerca de 26.9 millones de clientes e incorpora anualmente más de un millón. Cabe destacar que ésta es la empresa más grande del sector eléctrico de Latinoamérica. Asimismo es propietaria de la única central nucleoelectrica existente en el país. La misión de la CFE es Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente. Así también 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.

En este reporte técnico se hablara de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez es nombrada así porque se le rinde un homenaje al héroe chiapaneco ordenando que tanto la presa de la central hidroeléctrica lleve su nombre, cambiando así el de "la Angostura",

con el que se conoció la obra desde su proyecto hasta la entrada en operación. Como datos de gran valor histórico para el estado de Chiapas y para la nación.

La central hidroeléctrica cuenta con cinco turbinas de tipo Francis vertical que actualmente se utilizan para el principal objetivo de CFE, producir energía eléctrica. Dichas turbinas se encuentran ubicadas en lo que actualmente se le conoce como casa de máquinas localizada a la elevación 420.30.msnm.

Las partes más importantes que integran una turbina hidráulica son: Espiral, distribuidor, rodete, tubo de succión, flecha de turbina, sello de flecha, servomotores individuales, chumacera guía turbina, chumacera de carga.

Teniendo en cuenta los datos técnicos de cada componente se procede a un diseño de la bomba de alimentación de aceite, lo cual se busca hacer de este sistema de inyección de aceite, un sistema dúplex para asegurar la disponibilidad de las unidades e incrementar la confiabilidad operativa, dándole así paso a una serie de cálculos y métodos utilizados en el transcurso de este reporte técnico.

2.-JUSTIFICACION

Las unidades de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez cuentan con una sola bomba de inyección de aceite cada una. Al poner en marcha las unidades turbo generadoras, entran en función las unidades auxiliares, tal es el caso de la bomba de inyección de aceite, cuando la bomba de inyección de aceite tiende a fallar, la unidad detiene su proceso de arranque. Durante el tiempo de mantenimiento de la bomba de inyección de aceite ocasiona un tiempo perdido ya sea en días o hasta semanas, dejando así a la unidad indisponible para cualquier tipo de operación, provocando grandes pérdidas económicas. Debido a estas pérdidas económicas se pretende eliminar este problema implementando una bomba de inyección de aceite en las unidades turbo generadoras que tenga como función el respaldo de la bomba principal, ya que comparando el costo para la adquisición de una bomba de respaldo es menor a las perdidas comparadas con las pérdidas de una unidad sin operar.

3.- OBJETIVOS.

3.1-GENERAL.

Realizar el cálculo, identificación y formulación de la especificación técnica del circuito de alimentación de inyección de aceite de respaldo a los segmentos basculantes de las chumaceras de carga, con el objeto de asegurar la confiabilidad operativa de las unidades.

3.2-ESPECIFICOS.

- a) Incrementar la confiabilidad operativa de las unidades.
- b) Asegurar el mantenimiento a la bomba principal sin la necesidad de obtener una licencia en muerto para la unidad.
- c) Evitar los problemas en el arranque de las unidades, para evitar costos indebidos.

4.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO.

4.1 Historia

El 29 de diciembre de 1933, el Congreso de la Unión autorizó al Ejecutivo Federal mediante un decreto publicado en el diario oficial del 20 de enero de 1934 a crear la Comisión Federal de Electricidad (CFE.), que tendría como objetivo organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Sin embargo, fue el 14 de agosto de 1937 cuando el presidente de la república Lázaro Cárdenas, expide en Mérida Yucatán, la ley que creó a la Comisión Federal de Electricidad, haciendo uso de las facultades que le concedió el Congreso de la Unión en materia de industria eléctrica.

En la figura 1, se muestra cual fue el logotipo oficial de la empresa desde entonces, representando los tres grandes objetivos, generar, transmitir y distribuir la electricidad para el progreso de México.



Figura 1.- El logo de la CFE, Un generador y las torres de Transmisión y distribución.

El 15 de diciembre de 1968, durante una mesa redonda con las autoridades y sectores populares de Chiapas, el director de la CFE declaró:

“El señor Presidente Díaz Ordaz autorizó a la CFE, llevar adelante los trabajos de este extraordinario proyecto que es la construcción de la Central Hidroeléctrica La Angostura, pensando que es una forma de vigorizar el desarrollo de Chiapas”.

Para la realización del plan integral Grijalva, fue necesario construir el aprovechamiento de La Angostura, que reúne un conjunto de características que lo sitúan como elemento básico para el desarrollo del río Grijalva y que se puede emplear ventajosamente en la generación de energía, dado que dentro del territorio mexicano es el primer aprovechamiento que cuenta con un vaso de almacenamiento que regulariza un escurrimiento de 9,700 millones de m³ anuales aproximadamente.

4.2 Hidrología

La cuenca que alimenta el embalse de la angostura está limitada por una serie de contrafuertes que la separan de la cuenca del río Usumacinta, formado por las sierras de Independencia y San Cristóbal; entre estos contrafuertes y la sierra madre del sur está alojado el altiplano chiapaneco.

En la región son frecuentes los ciclones tropicales que descargan intensas lluvias generadoras de avenidas extraordinarias en los ríos Grijalva y Usumacinta, las cuales afectan principalmente a la zona costera.

Los principales datos hidrológicos son:

Tabla 1.- Datos hidrológicos de la C.H.B.D

Área de la cuenca	18 099 km ²
Longitud del embalse	100 km.
Elevación máxima del parte aguas	3 200 m.
Elevación media de la cuenca	1 100 a 1 300m.
Elevación mínima de la cuenca	413.00 m.
Precipitación media anual	1 379 mm.
Escurrencimiento medio anual	9.7 x10 ⁹ m ³ .
Escurrencimiento mínimo registrado	59 m ³ /seg.
Avenidas registradas	3 820 m ³ /seg.
Avenidas diseño para el desvío	5 000 m ³ /seg.
Avenida máxima extraordinaria	23 000 m ³ /seg.
Temperaturas	
Media máxima / mínima mayo	39.5 °C – 18.6°C
Media máxima / mínima Enero	34.1°C – 9.2°C
Elevación del desfogue	417.50 m. s. n. m.

4.3 Geología

Tanto el vaso como la boquilla están en el flanco del sinclinal que forma la depresión de Chiapas. Las calizas que forman el vaso y boquilla se dividen en dos formaciones denominadas II y I. La formación II yace bajo la I, y está constituida por dolomitas, calizas arrecifales y calizas estratificadas puras; todas estas rocas se observan fuertemente atacadas por la disolución, presentan numerosos kársticos y se consideran altamente permeables. La formación I, superpuesta a la II, está compuesta en su mayoría por calizas limosas que, en general se presentan sin ataque aparente de disolución y acusan drenajes superficiales bien desarrollados por lo que se pueden considerar, para los fines de almacenamiento, como impermeables. Las calizas de formación II afloran el 90% del vaso y las de la I en el 10% restante. La boquilla está localizada en la formación I.

La estructura general del vaso es un homoclinal en el que las capas buzan hacia aguas abajo en forma similar a un paquete de hojas.

En la figura 3, se puede observar la localización de la presa la angostura en el estado de Chiapas y su ubicación con respecto a las centrales hidroeléctricas que están instaladas aguas abajo del río Grijalva.

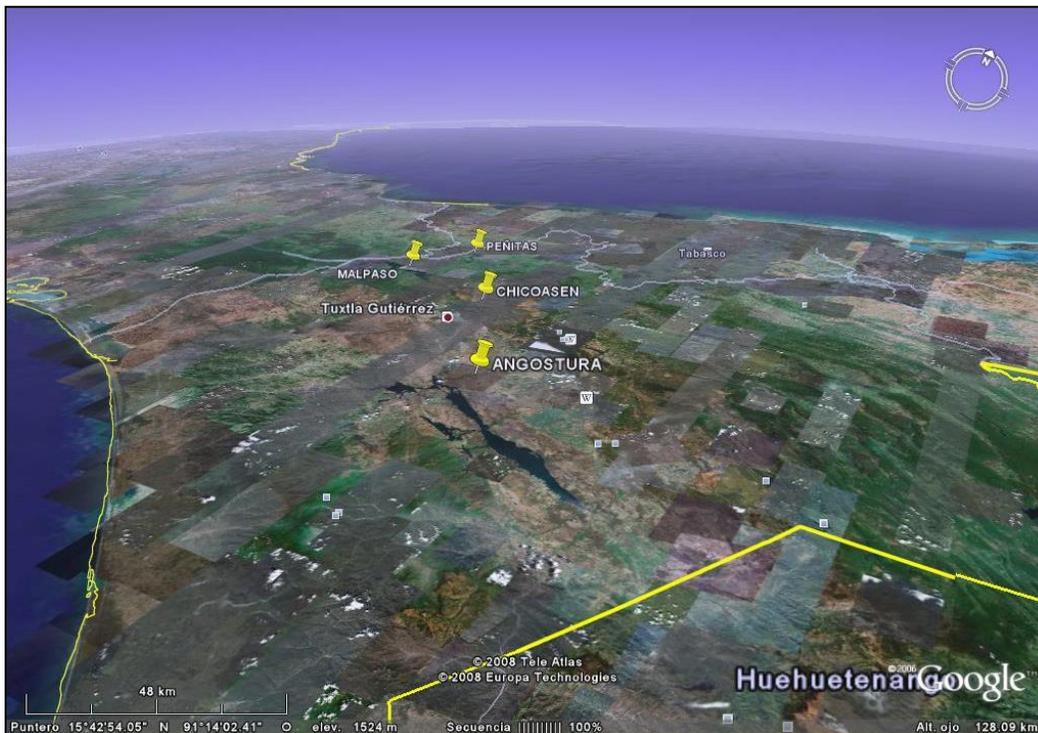


Figura 3.- Localización del vaso de Angostura en el Estado de Chiapas; fuente Google Earth.

4.4 Cortina

Para la construcción de la Hidroeléctrica se proyectó construirla en una zona conocida por los lugareños como La Angostura del río Grijalva (figura 4).

La cortina se desplaza sobre caliza blanda con una elevación de 396.00 m formada de enrocamiento con núcleo central de arcilla compactada y paramento vertical aguas abajo, de filtros y dos zonas de transición grava – arena.

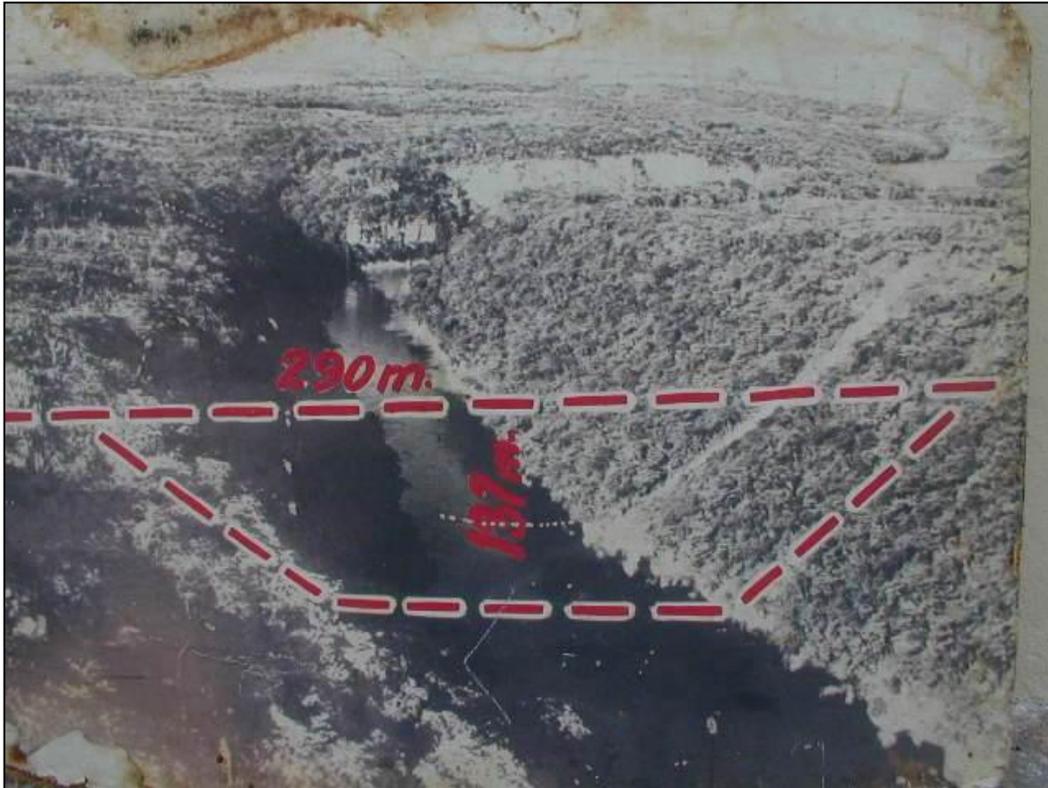


Figura 4.- Imagen rescatada del archivo de la central donde se observa cómo se plasmó el lugar donde quedaría la cortina sobre el cañón de la Angostura.

Para su protección se instalaron dos pantallas de concreto integradas con pilotes secantes bajo las ataguías y una pantalla de inyecciones en los empotramientos y en el fondo de la cortina.

El volumen total de materiales empleados es de $4.19 \times 10^6 \text{ m}^3$, de los cuales $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ corresponden a enrocamiento, transiciones y filtro.

El corazón de la cortina está formado de arcilla con un índice de plasticidad entre 15 y 60 y contenido de agua cercano al óptimo. En la figura 5 se observa como se ve actualmente la cortina de la central generadora.



Figura 5.- La cortina de Angostura, actualmente es parte de la carretera de Tuxtla Gutiérrez a la población de Venustiano Carranza y las zonas cañeras del altiplano chiapaneco.

4.5 Vertedor

Debido a la necesidad de evitar cualquier posibilidad de derrame sobre la cortina, fue necesario prever una estructura con gran capacidad.

Las condiciones de la roca no hacen aconsejable realizar cortes de gran altura. La solución más segura fue la de construir dos vertedores con salto de esquí (figura 6 y 7), con una capacidad máxima de descarga de 3 250 m³/s cada uno.

Desde que entró en operación la Central Hidroeléctrica no se ha requerido de la operación de los vertedores. Por razones de flexibilidad y seguridad en la operación es aconsejable mantener un vertedor de servicio y uno de emergencia.

El esquema adoptado cumple con las condiciones expuestas, ya que los cortes máximos no sobrepasan de 50 m; la operación de un solo vertedor permite desalojar una avenida de entrada con un volumen de 6560X10⁶ m³ y con picos de 15000 y 10000 m³/s. sin rebasar la elevación 537.50 m y al presentarse la avenida de diseño puede descargar un gasto de 4500 m³/seg. operando convenientemente las compuertas de los dos vertedores.



Figura 6.- Compuertas de vertedores



Figura 7.- Salto de esquí.

4.6 Nombre de la Central Hidroeléctrica

Una vez que entró en operación la central, en homenaje al héroe chiapaneco Dr. Belisario Domínguez, la CFE ordeno que tanto la presa como la Central Hidroeléctrica llevaran su nombre, cambiando así el de “La Angostura”, con el que se conoció la obra desde su proyecto. Sin embargo actualmente se reconoce a la central con los dos nombres.

4.7 Obra de toma

La obra de toma comprende 10 compuertas accionadas cada una por un servomotor óleo dinámico a pistón. Cada servomotor está alimentado por una central independiente compuesta por una electro bomba de eje vertical con sus dispositivos de seguridad y control (figura8).

La operación de las compuertas de obra de toma se realiza desde la sala de control o bien de manera local.

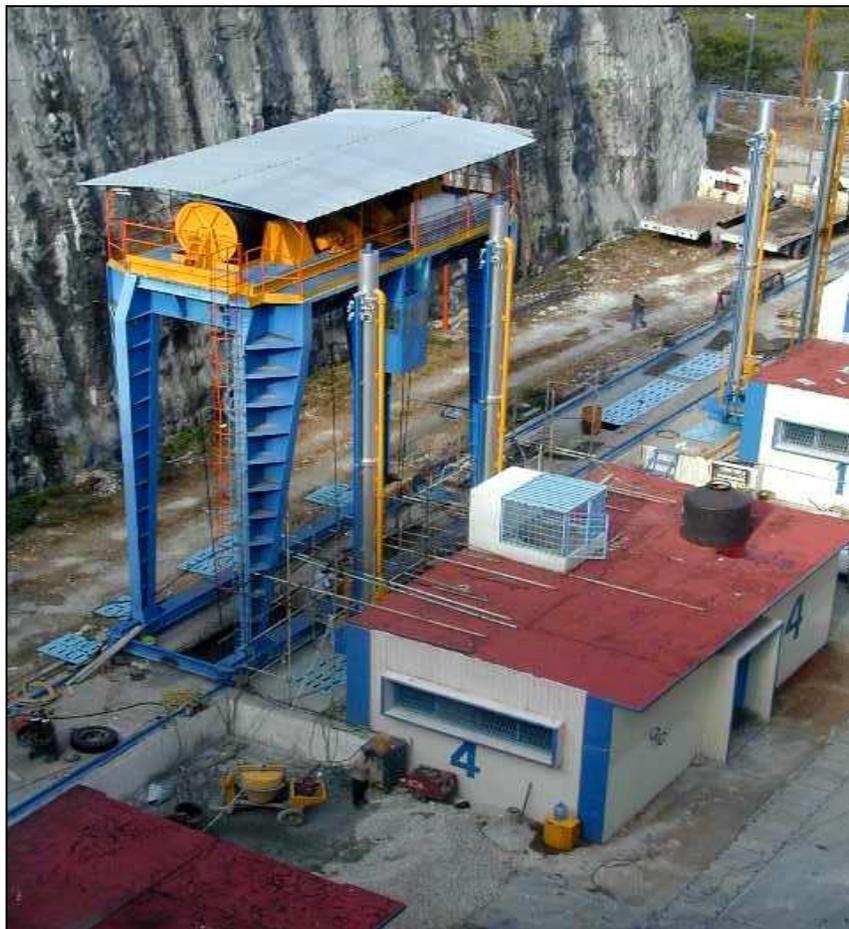


Figura 8.- Casetas de control de obra de toma y grúa pórtico para operar las compuertas auxiliares.

4.8 CASA DE MAQUINAS

De tipo subterráneo, la casa de máquinas se construyó en el interior de la roca montañosa de la margen derecha y su acceso es a través de un túnel de 640 m de longitud.

Su construcción se efectuó en dos etapas, alojando en la primera de ellas a las unidades 1,2 y 3 y en la segunda a las unidades 4 y 5.

Las dimensiones de ambas construcciones son las siguientes:

Tabla 2.- Dimensiones de casa de máquinas C.H.B.D.

	1ª Etapa	2ª Etapa
LONGITUD	113.50 m	99.00 m
ANCHO	19.30 m	19.30 m
ALTURA	46.40 m	46.40 m



Figura 9.- Casa de máquinas 1ª. Etapa



Figura 10.- Casa de máquinas 2ª etapa

Las principales elevaciones se indican en seguida y otras se muestran en el esquema del corte transversal.

Tabla 3.-Principales elevaciones de casa de máquinas.

Bóveda	443.40 m.s.n.m.
Aire acondicionado	436.07 m.s.n.m.
Piso generadores	427.00 m.s.n.m.
Piso de barras	423.50 m.s.n.m.
Piso de tableros	422.50 m.s.n.m.
Piso de turbinas	420.30 m.s.n.m.
Línea de centros turbina	417.00 m.s.n.m.
Puerta inspección rodete	411.50 m.s.n.m.
Galería de inspección	410.50 m.s.n.m.
Asiento tubo de succión	398.69 m.s.n.m.

Galería de drenaje	397.00 m.s.n.m.
--------------------	-----------------

4.9 Turbina.

Las cinco turbinas de la central son del tipo Francis vertical y se encuentran alojadas en la caverna que forma la Casa de Máquinas, localizadas a la elevación 420.30.m.s.n.m

Los principales datos técnicos son los siguientes:

Tabla 4.- Especificaciones de las turbinas instaladas en casa de máquinas.

Marca	Escher Wyss.
Tipo	Francis vertical.
Potencia	184 000 kw
Frecuencia	60 c.p.s.
Gasto	218 m3/seg
Caída neta	91.5 m
Velocidad	128.6 r.p.m.
Velocidad embalsamiento	245 r.p.m.
Diámetro entrada espiral	5.70 m
Diámetro entrada rodete	4.65 m
Diámetro salida rodete	5.28 m
Diámetro flecha	1.20 m
Diámetro chumacera guía	1.60 m
Material rodete	Acero inoxidable.
Numero alabes rodete	14
Rotación	En sentido de las manecillas del reloj, vista desde arriba.

A continuación se describen las partes más importantes que integran una turbina hidráulica:

Espiral.

La carcasa espiral empotrada es de construcción completamente soldada de acero de construcción de grano fino. El ante distribuidor bipartido fue soldado completamente en los talleres del fabricante.

Allí también se efectuó la prueba hidrostática con una presión de 20 kg/cm². Para acceso y control, la carcasa espiral tiene una entrada para hombre localizada a la elevación 420.30, del mismo piso de turbinas, sobre la parte superior de la tubería de presión.

Distribuidor.

Después de la espiral el agua fluye por el distribuidor que está compuesto de 26 alabes directrices. Tiene la misión de regular el caudal de la turbina y/o cerrarlo. Los alabes son de acero inoxidable al 13% cromo. Fundidos en una pieza y se apoyan con sus vástagos en tres cojinetes auto lubricados. Los bujes de cojinete de bronce con teflón asientan en los porta cojinetes del distribuidor de hierro fundido que están colocados desde afuera en las tapas de turbina. De esta manera se pueden montar y/o cambiar los bujes de cojinetes y juntas de alabes directrices sin desmontaje de las tapas de turbina.

Cada alabe directriz es accionada por un servomotor individual, cuyo vástago actúa sobre la palanca del distribuidor que está colocado en el vástago de alabe directriz lado generador.

Las tapas de turbina son de construcción soldada. Como la carga axial del cojinete de carga es transmitida a través de la tapa superior al ante distribuidor y desde allí al cimiento, esta tapa es de construcción sumamente rígida, tipo cajón. Para disminución del empuje axial hidráulico hay en la tapa lado generador cuatro tubos de descarga DN 200, a las que se conectan las tuberías que conducen al tubo de succión. La tapa interior sirve de apoyo para la carcasa del sello de flecha.



Figura 11.-Distribuidor

RODETE.

El rodete esta fundido en una sola pieza de acero cromo al 13%, tiene un diámetro de entrada de 4 650 mm y 14 alabes. Mediante 16 bulones de acoplamiento esta atornillado a la flecha de la turbina y el momento de torsión es transmitida a través de 16 bujes de acoplamiento. Para la formación del intersticio de laberinto de 2.5 mm con respecto a las tapas de turbina, hay atornillados anillos de desgaste de 4 segmentos, de material inoxidable recambiables. La tapa de rodete es de construcción soldada y forma adaptada al flujo.



Figura 12.- Rodete

TUBO DE SUCCION.

Cuando el agua de servicio ha entregado su energía al rodete fluye a través del tubo de succión hacia la galería de desfogue. El tubo de succión este previsto, hasta una velocidad aproximadamente de 5 m/seg Con un blindaje de chapa de 10 mm de espesor.

Inmediatamente después del rodete hay un anillo de protección de tubo de succión de cuatro partes, cambiable, con un blindaje de chapa inoxidable. Por medio de una entrada lateral se puede montar una plataforma de inspección que sirve para la visión del rodete y para desmontaje del anillo de desgaste.

FLECHA DE TURBINA.

La flecha de turbina esta forjada en una sola pieza y su diámetro es de 1.2 m está suficientemente diseñado para la transmisión del máximo momento de torsión. Las pistas para las chumaceras de guía son de forma de campana. El acoplamiento al generador se efectúa con 16 bulones y 16 pernos radiales. El anillo portante para la chumacera de carga está colocado con asiento deslizado sobre el extremo de la flecha.

SELLO DE FLECHA.

El sello de flecha de la turbina se realiza mediante una junta axial de anillo deslizante lleva un blindaje inoxidable sobre el cual deslizan los segmentos de anillos de carbón que están colocados en el porta – anillo de sello, bipartido, que puede moverse de cierres y para refrigeración de las superficies de deslizamiento se inyecta agua de cierre en la ranura circundante del anillo de carbón.

El agua de fugas que sale hacia la flecha es juntada en una cámara colectora de agua y enviada por una tubería a la galería de drenaje de la casa de máquinas.

Por medio de la presión de agua de cierre graduable a través de una válvula de reducción de presión, puede variarse el intersticio (aproximadamente 0.05 a 0.1 mm) entre ambas superficies de deslizamiento y controlarse con el medidor de gasto, cuando la maquina está en servicio.

Este sello trabaja durante la operación prácticamente sin contacto, por lo que solo está expuesto a un ínfimo desgaste y se ajusta automáticamente a medida que aparece desgaste.

Como supervisión del sello se tiene un termostato que emite alarma a temperatura demasiado elevada en la sala de tableros.

A fin de que durante trabajos de revisiones en el sello a plena presión de tubo de succión no pueda salir agua, está prevista una junta de parada radial que mediante agua a presión es empujada contra el anillo de sello inferior que lleva un blindaje inoxidable. Se tiene un seguro contra una puesta en marcha involuntaria con la junta de parada colocada.

SERVOMOTORES INDIVIDUALES.

La regulación de los alabes directrices se efectúa por medio de veintiséis servomotores individuales que están fijados en forma móvil en el apoyo inferior cilíndrico de la chumacera de carga.

El cilindro con un diámetro de 200 mm está formado por un tubo bruñido y placas frontales, que están unidas por medio de bulones de tracción. El pistón está bajo la acción de presión de aceite a ambos lados, en sentido de cierre y apertura y tiene una carrera de 260 mm.

El movimiento de mando del regulador es transmitido a través de un varillaje de mando que está apoyado en forma girable en la tapa de turbina a cada una de las válvulas de mando.

El aceite de presión es llevado a cada uno de los servomotores por medio de una tubería anular de colección, de la misma forma se efectúa la conducción de aceite de retorno.



Figura 13.- Servomotores individuales

CHUMACERA GUÍA TURBINA:

La turbina está equipada con una chumacera de guía inferior y una chumacera de guía superior. La chumacera de guía superior esta combinada con la chumacera de carga . Como otro lugar de apoyo se tiene una chumacera guía en la parte superior del generador, denominada chumacera guía generador.

Ambas chumaceras de guía fueron diseñadas como chumaceras de segmento y consisten de ocho segmentos revestidos con metal antifricción, que se apoyan a través de pernos de apoyo bombeados y la carcaza de chumacera. Las fuerzas radiales que se presentan en la chumacera guía inferior se transmiten a través de la carcaza de chumacera a la tapa de turbina superior y en la chumacera de guía superior al apoyo de la chumacera de carga superior. El apoyo de la chumacera de carga esta forzado con ocho vigas radiales en el pozo de la turbina. Para la supervisión de las chumaceras se cuentan con los siguientes instrumentos;

Para cada chumacera de guía superior e inferior:

- 1.- Termómetro de distancia a mercurio en el aceite con un contacto de alarma.

- 2.- Termómetro de distancia a mercurio en metal de chumacera con un contacto de alarma y un contacto de disparo.

Para control del nivel de aceite están colocados en la carcaza de la chumacera superior un flotador y en la carcaza de la chumacera inferior dos flotadores. El gasto de aceite y el de agua de refrigeración es controlado con supervisores de flujo y /o medidores de gasto electrónicos.

La Presa “La Angostura” más formalmente llamada presa Belisario Domínguez, es una presa ubicada en el cauce del Río Grijalva en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México. La central hidroeléctrica Belisario Domínguez cuenta con distintos departamentos, los cuales se encargan de diferentes actividades cada uno. El primer lunes de cada mes el personal de la C.H.B.D realiza honores a la bandera, así también realizan la reunión de inicio de jornada “RIJ” que se basa en el documento normativo N-2000-HC17 “PROCEDIMIENTO PARA REUNIONES DE INICIO DE JORNADA (RIJ)” de CFE, a través de éstas RIJ diariamente y durante todo el periodo que se realicen actividades, el personal responsable de los trabajadores da conocer conjuntamente con ellos los riesgos a que estarán expuestos durante las actividades que realizarán en la jornada laboral diaria, mismos que se exponen incluyendo las medidas de control que deberán tomar en cuenta durante los trabajos para evitar la ocurrencia de algún incidente o accidente laboral.

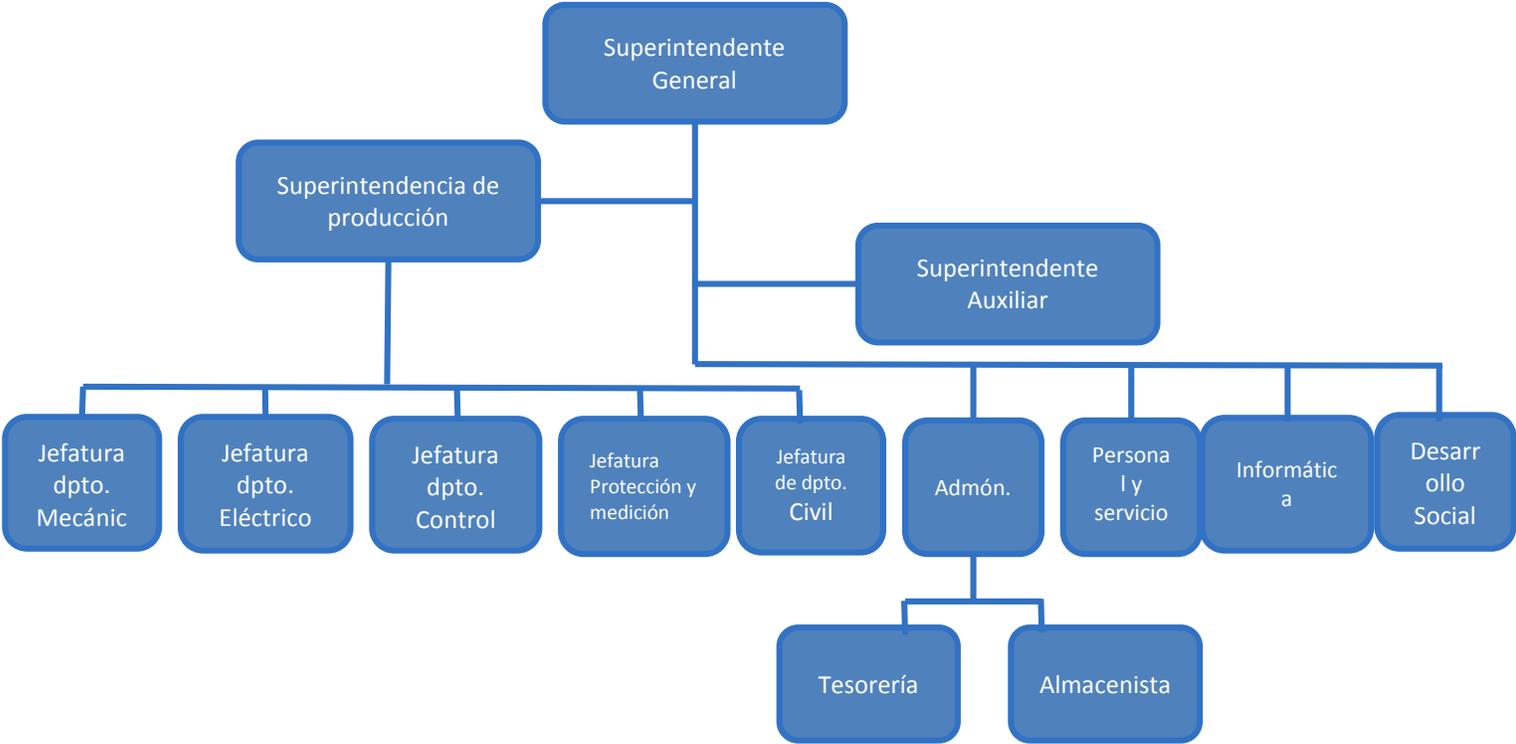
La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa productiva del Estado, encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el territorio mexicano. La visión de la CFE para el 2030 es: Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Y su política es: proporcionar el servicio público de energía eléctrica y otros servicios relacionados de acuerdo a los requerimientos de la sociedad, con base en el desempeño competitivo de los procesos de la dirección de operación y 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 daño a las instalaciones.
- ✓ Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.
- ✓ Prevenir la contaminación y aprovechar de manera responsable los recursos naturales y
- ✓ Realizar acciones sociales.

Apoyados en la innovación y desarrollo tecnológico.

A continuación se presenta un organigrama de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez:



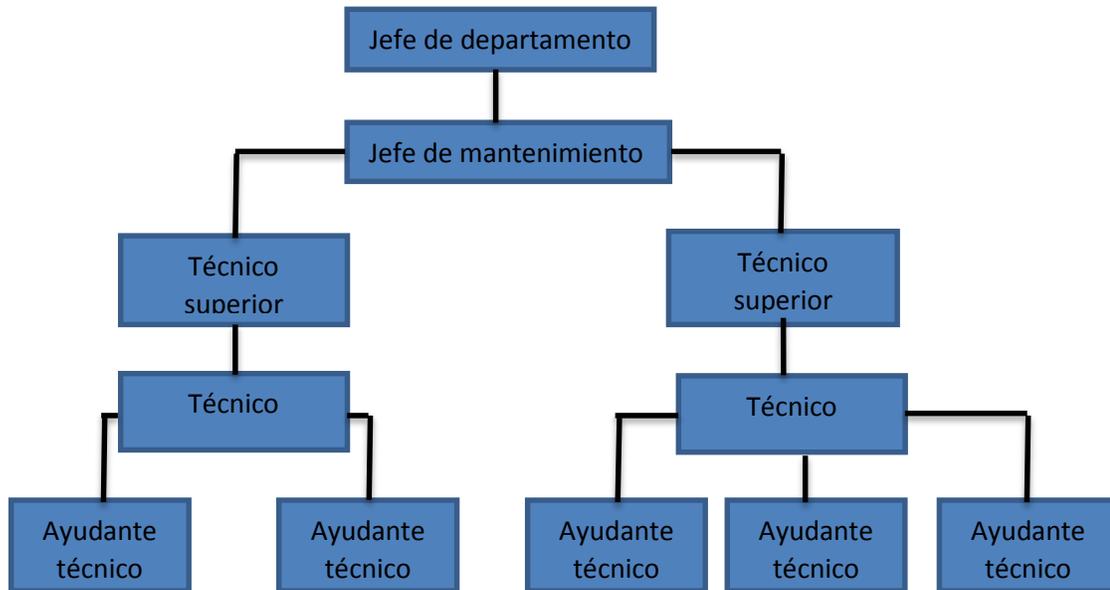
Organigrama de CFE C.H.B.D.

El departamento mecánico cuenta con 11 personas capacitadas para hacer cualquier tipo de maniobras dentro de casa de máquinas. A cada inicio de jornada, el personal del departamento mecánico hace la “RIJ” dentro de la oficina del jefe de departamento mecánico en la cual se toman acuerdos de las actividades que se llevaran a cabo en el día así también se divide el personal para poder trabajar en equipo .



Figura 14 Reunión de inicio de jornada. Departamento mecánico.

Los puestos en el departamento mecánico que ocupa cada trabajador son otorgados conforme a la experiencia obtenida durante el transcurso de las labores, a continuación se presenta el organigrama del departamento mecánico.



Organigrama del departamento mecánico.

El área de trabajo del departamento mecánico es en casa de máquinas, también cuenta con dos talleres mecánicos, uno está dentro de casa de máquinas tal como se muestra en la figura 4 y el otro taller es externo, en este taller se trasladan las piezas o componentes que requieren de un trabajo extra ordinario al que comúnmente se les pueda dar. El traslado de casa de máquinas al taller mecánico se hace por medio de una camioneta de 3 toneladas que el departamento cuenta. Así también cuenta con dos camionetas Ford la cual utilizar para el traslado del personal y de equipo de trabajo.



Figura 15 Taller interno del departamento mecánico.

5.- PROBLEMAS A RESOLVER CON SU RESPECTIVA PRIORIZACIÓN.

La bomba de izaje o de inyección de aceite juega un papel muy importante en la turbina, ya que esta produce una capa de aceite de 1mm de espesor en las chumaceras para poder dar una correcta operación a las unidades.

El poco espacio entre las paredes de la carcasa hace del trabajo de implementación de una segunda bomba de inyección un trabajo complicado de acoplar en las paredes. El diámetro de flecha de la turbina es de 1.2m y fuera de ésta se encuentran instalados servomotores, bomba de lubricación, manómetros y hasta la misma bomba principal de inyección de aceite. La solución inmediata a este problema sería buscar una bomba con las mismas especificaciones que la bomba principal de inyección de aceite, pero con medidas más pequeñas, de tal forma que el gasto y la eficiencia en ambos sean la misma pero el tamaño para el acoplamiento en la misma pared reducirá.

El acoplamiento de la bomba de respaldo hacia la bomba principal de inyección de aceite se hará de tal forma que al fallar la bomba principal entre de inmediato la bomba de respaldo, esto se hará a través de series de cálculos y diseños para que las unidades puedan operar sin problemas.

Así también, se cree que la bomba principal de inyección de aceite instalada en cada una de las unidades cuenta con una potencia de sobra para producir su trabajo, es por ello que se demostrara de manera teórica por medio de cálculos la potencia necesaria que se puede utilizar para el sistema de inyección de aceite.

6.- ALCANCES Y LIMITACIONES

Por medio de una metodología de cálculo, se determinara la potencia de la bomba de inyección de aceite y se implementara otra de tal forma que ambas bombas sean un mismo sistema, para las unidades del sistema de inyección de aceite de las chumaceras de las turbinas de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez.

7.- FUNDAMENTO TEORICO

Los fluidos desempeñan un interés excepcional en la técnica y en primer lugar el agua y aire: sin el estudio del primero no se puede dar un paso en la oceanografía, ingeniería naval, canalizaciones y conducciones hidráulicas, estructuras hidráulicas, aprovechamiento de la energía hidráulica, estaciones de bombeo, etc. Las ecuaciones fundamentales y definiciones de algunos conceptos para la total comprensión de los temas del capítulo en cuestión serán descritas de la siguiente forma.

Presión: magnitud física que mide la fuerza por la unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde

P= Presión (N/m²) A= Área (m²)

F= fuerza(N)

Velocidad: Variación de la posición de un objeto en función de la distancia recorrida en unidad de tiempo.

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

Donde:

V= velocidad (m/s) t= Tiempo (seg)

L= Longitud (m)

Densidad: magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ m=Masa (kg) v=Volumen (m³)

Viscosidad dinámica: La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

La viscosidad solo se manifiesta en líquidos en movimiento, se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Esta viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o viscosidad dinámica. Generalmente se representa por la letra griega μ .

Se conoce también otra viscosidad, denominada viscosidad cinemática, y se representa por ν . Para calcular la viscosidad cinemática basta con dividir la viscosidad dinámica por la densidad del fluido

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática} \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del Fluido} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\mu = \text{Viscosidad del Fluido} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)$$

Caudal: es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la 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:

$$Q = A V$$

Dónde:

Q Caudal (m^3/s)

A Es el área (m^2)

V Es la velocidad promedio. (m/s)

7.1 Ecuación de Bernoulli

Hay tres formas de energía que se toman en cuenta siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo. Considere un elemento de fluido como la figura que a continuación se muestra, dentro de una tubería en un sistema de flujo, se localiza a cierta elevación “ Z ”, tiene velocidad “ V ” y presión “ P ”.



Figura 16 Elemento de fluido en una tubería. (Fuente: Robert L. Mott. Pág. 166)

El elemento de fluido posee las formas de energía siguientes: Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es:

$$EP = wz \dots\dots (7.1)$$

Dónde:

EP =Energía potencial. (J)

W = Peso del elemento(N)

Z = Distancia de la elevación (m)

Energía cinética: La energía cinética de un cuerpo es aquella energía que posee debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad. Para que el cuerpo regrese a su estado de reposo se requiere un trabajo negativo de la misma magnitud que su energía cinética. Suele abreviarse con letra E_c o E_k (a veces también T o K).

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (7.2)$$

Dónde:

E_c = Energía cinética (J)

m = Masa del elemento (Kg)

V = Velocidad (m/s)

Energía de flujo: A veces llamada energía de presión o trabajo de flujo, y representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión "P".

$$EF = \frac{WP}{\gamma} \dots\dots\dots(7.3)$$



Figura 17.- Energía de fluido. (Fuente: Robert L. Mott. Pág. 166)

Dónde:

EF= Energía del fluido (J)

P= Presión (N/m²)

W = Peso del elemento(N)

γ =peso especifico(N/m³.)

La ecuación se obtiene como sigue. La figura siguiente muestra al elemento de fluido en la tubería mientras se mueve a través de una sección. La fuerza sobre el elemento es “PA”, donde “P” es la presión en la sección y “A” es el área de esta. Al mover el elemento a través de la sección, la fuerza recorre una distancia L igual a la longitud del elemento.

Por lo tanto, el trabajo que se realiza es:

$$\text{Trabajo} = PV = \frac{PW}{\gamma} \dots\dots 7.4$$

Dónde:

W= Trabajo (J)

P=Presión (N/m²)

W= Peso del elemento(N)

γ =Peso específico(N/m³.)

Denominada energía de flujo.

Entonces, la cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido es la suma “E”.

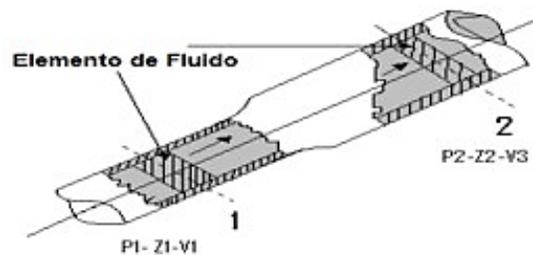


Figura 18.-Elemento de fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli. (Fuente: Robert L.Mott.)

$$E = EF + EP + EC .$$

$$E = \frac{wP}{\gamma} + wz + \frac{wv^2}{2g} \dots\dots (7.5)$$

$$E = \frac{wP}{\gamma} + wz + \frac{wv^2}{2g} \dots\dots (7.6)$$

Conocida como ecuación de Bernoulli.

Dónde:

g = Gravedad (m/s^2) Z =Distancia de elevación (m) γ =Peso específico(N/m^3 .)

P = Presión (N/m^2) V = Velocidad (m/s)

Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.

La ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad también nos dicen que si reducimos el área transversal de una tubería para que aumente la velocidad del fluido que pasa por ella, se reducirá la presión.

7.2 Ecuación General de la Energía

Conceptos introductorios.

La siguiente ecuación involucra el flujo volumétrico cuando hay líquidos que circulan en el sistema serie.

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots (7.12)$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

Como $Q=A \cdot V$, esta se escribe como:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots (7.13)$$

A = Área (m^2) V =Velocidad (m/s)

Estas relaciones permiten determinar la velocidad de flujo en cualquier punto del sistema si se conoce el flujo volumétrico y las áreas de las tuberías en las secciones de interés. Además, deberán estar familiarizados con los términos que

expresan la energía que posee un fluido por unidad de peso de fluido que circula por el sistema:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots (7.14)$$

Dónde:

g= Gravedad (m/s²) Z=Distancia de elevación (m) γ =Peso específico(N/m³.)

P=Presión (N/m²) V= Velocidad (m/s)

h_R =Perdida de energía en el sistema (m.c.a) $\frac{P}{\gamma}$ =Carga por Presión

h_L =Perdida de carga debido a la fricción (m.c.a)

$v^2/2g$ =Carga por Velocidad

A la suma de estos tres términos se le denominan carga total. Todo esto compone la ecuación de Bernoulli. Sin embargo hay varias restricciones para utilizar la ecuación de Bernoulli:

1. Solo es válida para fluidos incompresibles.
2. Entre las 2 secciones de interés no puede haber dispositivos mecánicos como bombas, motores de fluido o turbinas.
3. No puede haber pérdida de energía por fricción, por la fricción o turbulencia que generen válvulas y accesorios en el sistema de flujo.
4. No puede existir transferencia de calor hacia el sistema o fuera de éste.

7.3 Numero de Reynolds.

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos

casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \dots\dots(7.15)$$

O equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \dots\dots (7.16)$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

v_s : Velocidad característica del fluido (m/s)

D : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema (m)

μ : Viscosidad dinámica del fluido $\left(\frac{Kg}{s \cdot m}\right)$

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Como todo número adimensional es un cociente, una comparación. En este caso es la

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} .$$

7.3.1 Flujo Laminar y Turbulento

Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. En conductos o tuberías (en otros sistemas, varía el Reynolds límite):

Si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Según otros autores:

Para valores de $Re \leq 2\ 100$ (para flujo interno en tuberías circulares) el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.

Para valores de $2\ 100 \leq Re \leq 3\ 000$ (para flujo interno en tuberías circulares) la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.

Para valores de $Re \geq 3\ 000$, (para flujo interno en tuberías circulares) después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

En un flujo laminar no existe un estado macroscópico de las capas de fluido adyacentes entre sí. Un filamento delgado de tinta que se inyecte en un flujo laminar aparece como una sola línea; no se presenta dispersión de la tinta a través del flujo, excepto una difusión muy lenta debido al movimiento molecular. Por otra parte, un filamento de tinta inyectado en un flujo turbulento rápidamente se dispersa en todo el campo de flujo; la línea del colorante se descompone en una enredada maraña de hilos de tinta.

Este comportamiento del flujo turbulento se debe a las pequeñas fluctuaciones de velocidad superpuestas al flujo medio de un flujo turbulento; el mezclado macroscópico de partículas pertenecientes a capas adyacentes de fluido da como resultado una rápida dispersión del colorante.

El filamento rectilíneo de humo que sale de un cigarrillo expuesto a un ambiente tranquilo, ofrece una imagen clara del flujo laminar. Conforme el humo continúa subiendo, se transforma en un movimiento aleatorio, irregular; es un ejemplo de flujo turbulento. El que un flujo sea laminar o turbulento depende de las propiedades del caso.

El flujo dentro de una capa límite puede ser también laminar o turbulento; las definiciones de flujo laminar y flujo turbulento dadas anteriormente se aplican también en este caso.

Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y parámetros mensurables dentro del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen - Poiseville:

$$h_L = \frac{32\eta LV}{\gamma D^2} \dots\dots\dots (7.16)$$

Dónde:

γ =Peso específico (N/m³) η = Viscosidad dinámica $\left(\frac{Kg}{s \cdot m}\right)$ V =Velocidad (m/s)

D =Diámetro (m) L =Longitud (m)

La ecuación de Hagen - Poiseville es válida solo para flujo laminar ($N_R < 2000$). Sin embargo, se dijo con anterioridad que también podía usarse la ecuación de Darcy-Weisbach para calcular la pérdida por fricción para el flujo laminar. Si igualamos las 2 relaciones para “ h_L ”, podemos despejar el factor fricción:

$$f = \frac{32\eta Lv D 2g}{\gamma D^2 Lv^2} = \frac{64\eta g}{v D \lambda} \dots\dots\dots (7.17)$$

En resumen, la pérdida de energía debida a la fricción en el flujo laminar puede calcularse con la ecuación de Hagen - Poiseville:

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \dots\dots\dots (7.18)$$

O con la ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots (7.19)$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción (adimensional) V =Velocidad (m/s) L = Longitud (m)

D =Diámetro (m) η =Viscosidad dinámica $\left(\frac{Kg}{s \cdot m}\right)$

En la que $f = 64/N_R$

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy-Weisbach para calcular la pérdida de energía debido a la fricción. El flujo turbulento es caótico y varia en forma constante.

Por estas razones, para determinar el valor de “f” debemos recurrir a los datos experimentales. Las pruebas han demostrado que el número adimensional “f” depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería “D” a la rugosidad promedio de su pared “ε” (letra griega épsilon). La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material de que está hecha el tubo y el método de fabricación.

Tabla 5.-Valores de diseño de la rugosidad de tubos (Fuente: Robert L. Mott.)

MATERIAL	RUGOSIDAD ε mm	RUGOSIDAD ε mm
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

7.3.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida por presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido.

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería llena.

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores. La ventaja de esta fórmula es que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(7.19)$$

Dónde:

h_f = Pérdida de carga debida a la fricción. (m)

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (Adimensional)

L = Longitud de la tubería. (m)

D = Diámetro de la tubería. (m)

V = Velocidad media del fluido. (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

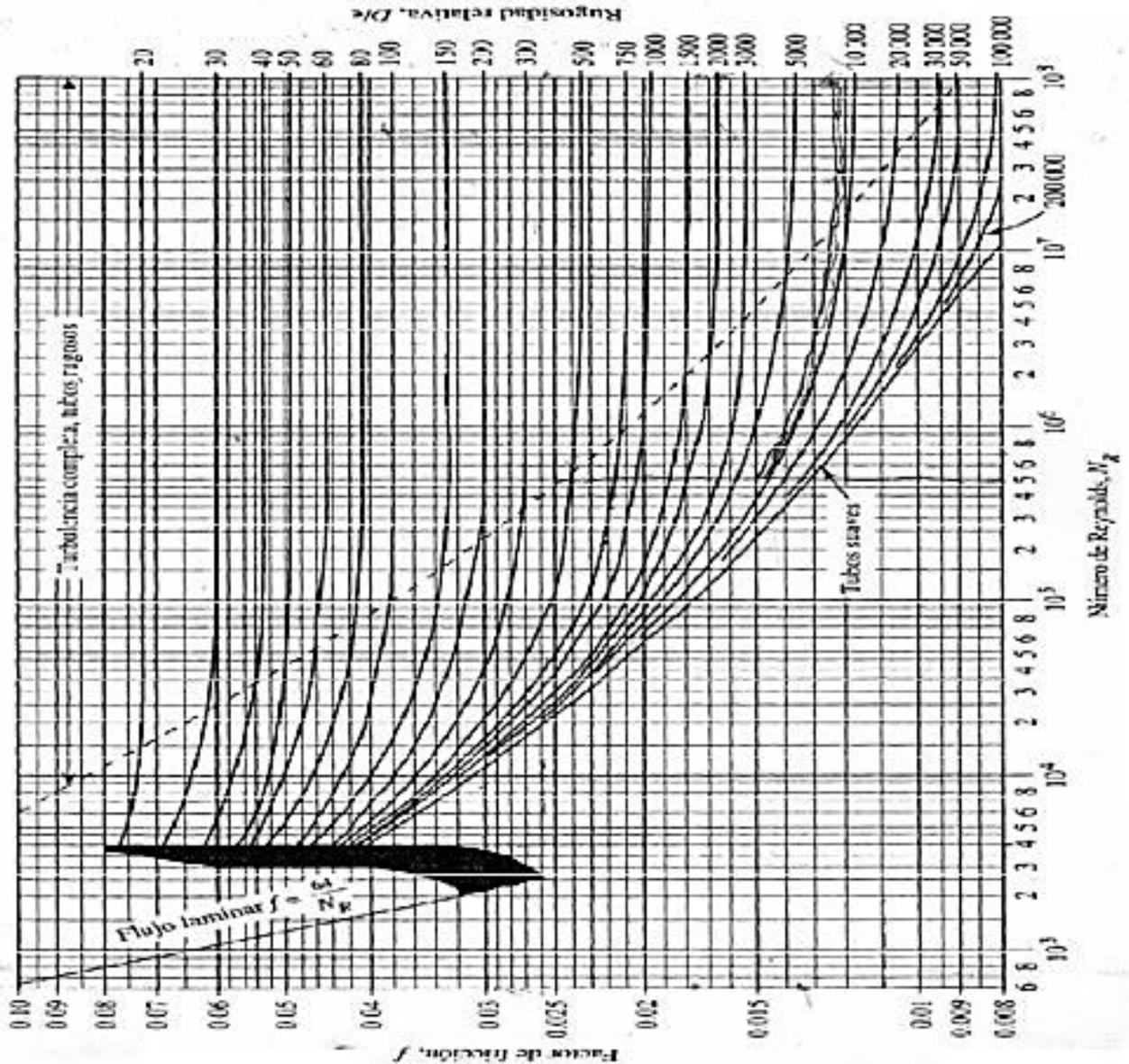
7.3.3 Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.

En la ecuación de Darcy-Weisbach aparece el término “ f ” que representa el factor de fricción de Darcy, conocido también como coeficiente de fricción. El cálculo de este coeficiente no es inmediato y no existe una única fórmula para calcularlo en todas las situaciones posibles.

Se puede distinguir dos situaciones diferentes, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento. En el caso de flujo laminar se usa una de las expresiones de la ecuación de Poiseville; en el caso de flujo turbulento se usa la ecuación de Colebrook-White. En el caso de flujo laminar el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds. Para flujo turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería, por eso en este caso se

representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro k/H , donde “K” es el valor de la rugosidad absoluta, es decir la longitud (habitualmente en milímetros) de la rugosidad directamente medible en la tubería. En la siguiente figura se muestra el diagrama de Moody.



El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de letra “T” (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que

producen. En un sistema típico, con tubos largos, estas pérdidas son menores en comparación con la pérdida de carga por fricción en los tubos (las pérdidas mayores) y se llaman pérdidas menores

En consecuencia usualmente los fabricantes de los accesorios determinan las pérdidas menores de manera experimental.

Las pérdidas menores se expresan en términos del coeficiente de pérdida “ K_L ” (también llamado coeficiente de resistencia), que se define como:

$$K_L = \frac{h_L}{\frac{v^2}{2g}}$$

Dónde:

K_L =Coeficiente de pérdida V = Velocidad (m/s)

h_L =Pérdida de carga (m.c.a) g = Gravedad (m/s²)

Donde “ h_L ” es la pérdida de carga irreversible adicional en el sistema de tuberías provocado por la inserción del accesorio, y se define como:

$$h_L = \frac{\Delta PL}{\rho g} \dots\dots (7.20)$$

Donde:

h_L =Pérdida menor (m.c.a) g = Gravedad (m/s²) ρ = Densidad (N/m³)

P = Presión (N/m²) L =Longitud (m)

Cuando el diámetro de entrada sea igual al diámetro de salida, el coeficiente de pérdida de un accesorio también se puede determinar cuándo se mide la pérdida de presión a través del accesorio y se divide entre la presión dinámica:

$$K_L = \frac{\Delta PL}{\frac{1}{2}(\rho V^2)} \dots\dots(7.21)$$

Cuando está disponible el coeficiente de pérdida para un accesorio, la pérdida de carga para este accesorio se determina a partir de:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots (7.22)$$

Dónde:

K_L =Coeficiente de perdida. V = Velocidad (m/s)

h_L =Pérdida menor (m.c.a) g = Gravedad (m/s²)

En general, el coeficiente de pérdida depende de la geometría del accesorio y del número de Reynolds, tal como el factor de fricción. Sin embargo, usualmente se supone que es independiente del número de Reynolds. Esa es una solución razonable porque, en la práctica, la mayoría de los flujos tienen número de Reynolds grandes y los coeficientes de pérdida (que incluyen el factor de fricción) tienden a ser independientes del número de Reynolds a números de Reynolds grandes.

Las pérdidas menores también se expresan en términos de la longitud equivalente “L” que se define como:

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} = f \frac{L_e v^2}{D 2g} \rightarrow L_e = \frac{D}{f} K_L \dots\dots (7.23)$$

Dónde:

h_L = Pérdida menor (m.c.a) K =Coeficiente de perdida(adimensional) V =Velocidad (m/s)

g =Gravedad (m/s²) f = Factor de fricción. (Adimensional)

D = Diámetro (m) L =Longitud (m)

Donde “f” es el factor de fricción y “D” es el diámetro de la tubería que contiene el accesorio. La pérdida de carga que provoca el accesorio equivale a la pérdida de carga causada por un tramo de tubería cuya longitud es “L_e”. Por lo tanto, la aportación de

un accesorio a la pérdida de carga se puede explicar simplemente con añadir “L_e” a la longitud de la tubería total.

En la práctica se usan ambos procedimientos, pero el uso del coeficiente de pérdida es más común.

Por lo tanto, cuando ya estén disponibles todos los coeficientes de pérdidas, la pérdida de carga total en un sistema de tubería se determina de:

$$h_{L \text{ total}} = h_{L \text{ mayor}} + h_{L \text{ menor}} \dots\dots (7.24)$$

Dónde:

h_L = Pérdida de carga (m.c.a)

7.5 Redes de Tubería en Serie

Para dicho sistema la ecuación de la energía, con el empleo de la superficie de cada depósito como punto de referencia es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots (7.25)$$

Dónde:

γ = Peso específico (N/m³)

Z= Distancia de elevación (m)

P=Presión (N/m²)

h_L = Pérdida de carga debido a la fricción (m.c.a)

g=Gravedad (m/s²)

h_A =Energía que la bomba agrega al sistema (m.c.a)

V=Velocidad (m/s)

Los primeros tres términos del lado izquierdo de esta ecuación representan la energía que tiene el fluido en el punto 1, en forma de carga de presión, carga de elevación y carga de velocidad. Los términos del lado derecho representan la energía del fluido en el punto 2.

Es común que haya varios factores que contribuyen a la pérdida total de energía como por ejemplo:

$$h_l = h_1 + h_2 + h_3 + h_n \dots \dots \dots (7.25)$$

En un sistema de tuberías en serie, la pérdida total de energía es la suma de las perdidas individuales menores más todas las pérdidas provocadas por la fricción. Este enunciado coincide con el principio de la ecuación de la energía, es el recuento de toda la energía entre dos puntos de referencia del sistema.

7.6 Potencia y eficiencia.

La potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo. Si W es la cantidad de trabajo realizado durante un intervalo de tiempo de duración Δt , La potencia en HP (Horse power), requerida para manejar una bomba puede ser figurada por la siguiente igualdad:

$$W_{hp} = HP = \frac{\text{libras de liquido elevado por minuto} \times H(\text{pies})}{33,000} \dots \dots \dots (7.26)$$

$$W_{hp} = HP = \frac{\text{galones por minuto} \times H(\text{pies}) \times Sg}{3960} \dots \dots \dots (7.27)$$

Dónde:

HP=Trabajo útil hecho por la bomba

$$BPH = \frac{\text{galones por minuto} \times H(\text{pies}) \times Sg}{3960 \times \text{eficiencia de la bomba}} \dots \dots \dots (7.28)$$

Dónde:

$$HP = \frac{lb - fza}{seg}$$

$$\text{Eficiencia de la bomba} = \frac{W_{hp}}{B_{hp}} \dots \dots \dots (7.29)$$

$$HP \text{ electrico del motor} = \frac{Bhp}{\text{eficiencia del motor}} = \frac{gpm \times H \times Sg}{3960 \times \text{ef.bomba} \times \text{ef.motor}} \dots\dots (7.30)$$

$$Kw \text{ en el motor} = \frac{Bhp \times 0.746}{\text{ef.del motor}} = \frac{gpm \times H \times Sg \times 0.746}{3960 \times \text{ef.bomba} \times \text{ef.motor}} \dots\dots (7.40)$$

$$\text{Eficiencia total} = \text{ef. de la bomba} * \text{ef. del motor. de entrada de la bomba}$$

Para la potencia en el sistema ingles también se considera de la siguiente forma:

$$HP = \frac{\gamma * Q * E_A}{550} \dots\dots (7.41)$$

Donde:

$$\gamma = \text{Peso especifico} \left(\frac{lb}{ft^3} \right)$$

$$Q = \text{Caudal} (ft^3)/s$$

$$E_A = \text{Energia agregada} (ft. c. a)$$

Factor de conversión = 550 lb-ft/seg

7.6.2 Gravedad Específica

La gravedad específica es una medida relativa de la densidad del fluido, en comparación con el agua.

La gravedad específica del agua a 60°F es de 1.0. Si la densidad del fluido es mayor que la del agua, su gravedad específica será mayor que 1. Por ejemplo, la salmuera concentrada puede tener una gravedad específica de 1.2, lo que significa que su densidad es de 20% mayor que la del agua. Otro ejemplo es el

ácido sulfúrico, que puede tener una gravedad específica menor de 1. La gasolina tiene una gravedad específica de 0.72, el queroseno de 0.80 y el aceite lubricante de 0.90.

7.7 SUMARIO

Los fundamentos teóricos son base importante en el desarrollo y solución de los fenómenos físicos que se presentan en las diversas etapas del proyecto, he aquí la relevancia por la cual se ha de hacer referencia a ellos para una comprensión total y un entendimiento adecuado en el procedimiento lógico.

Se han elegido temas de suma importancia, así como principios básicos de ingeniería, los cuales justifican el porqué de la problemática y satisfacen las soluciones de manera adecuada.

8. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

Las necesidad de implementar una segunda bomba hacia el sistema de inyección de aceite en la central hidroeléctrica Belisario Domínguez se ha vuelto cada vez más indispensable debido, a como se había mencionado anterior mente, las turbinas solo

cuentan con una bomba principal y esta bomba tiene que estar en óptimas condiciones para que la unidad pueda empezar con la generación de energía.

El sistema de inyección de aceite cuenta con una red de tubería en serie y como ya se había descrito y se consideraran las ecuaciones también planteadas en el fundamento teórico.

La principal función de la bomba de inyección de aceite es izar la masa rotativa de las unidades las cuales sus componentes principales de la chumacera de carga, son el anillo portante que está colocado sobre la brida de la flecha, los catorce segmentos basculantes, los pernos de apoyo y los apoyos de hierro blando. La carga axial que se genera durante el servicio es transmitida al escudo superior a través del cilindro de carga.

La alimentación de aceite de chumacera de carga se efectúa por un sistema cerrado. El aceite es aspirado desde el recipiente de aceite de la chumacera de guía inferior con una bomba vertical accionada por un motor eléctrico y empujado por el refrigerador de aceite. Luego el flujo de aceite es distribuido a cada chumacera por diafragmas.

El retorno está provisto de un tubo de desborde, de modo que también en el caso de pérdidas en el sistema de tubería los segmentos quedan sumergidos en el aceite. Al tubo de desborde están conectadas dos tuberías de salida vertical. En la parte inferior de la tubería de mayor diámetro está prevista una válvula mariposa que está ajustada de modo tal que esta tubería a servicio normal esté llena hasta la mirilla de arriba. De este modo se reduce la formación de espuma por la caída del aceite. Si la bomba de aceite conduce en un caso inusitado un caudal mayor, entonces también fluye aceite por la tubería de retorno de menor diámetro, no estrangulada, desde la carcasa de la chumacera superior a la inferior.

La carcasa de chumacera de carga tiene en el pasaje de la flecha una cámara de aire de cierre, a fin de evitar la salida de vapores de aceite. Además también hay instalada una extracción de los mismos vapores.

Teniendo en cuenta una información básica de la bomba de inyección de aceite se procede a describir los datos necesarios para realizar los cálculos correspondientes en el diseño del sistema dúplex de alimentación de aceite.

Partiendo para el desarrollo del cálculo de potencia de la bomba, se toma como referencia los siguientes datos:

Aceite Mobil DTE Oil Extra Heavy
$\rho = 842 \frac{kg}{m^3}$
$v = 2.39 \frac{m^2}{seg}$
Longitud de succión= 2.10m
Longitud de descarga= 2.10m
$Q = 19 \frac{L}{min}$
$\phi_{succion} = 1.25 \text{ pulg}$
$\phi_{descarga} = 0.75 \text{ pulg}$
$\epsilon = 0.006cm$

Calculo del peso específico

Como se conoce la densidad del fluido, fácil mente se puede conocer también el peso específico del mismo fluido, a partir de la siguiente formula.

$$\rho = 0.842 \frac{kg}{l}$$

$$\gamma = \rho * g$$

Conversión a kg/m³

$$0.842 \frac{kg}{L} * \frac{1000 L}{1m^3} = 842 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma = 842 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 8260.02 \frac{N}{m^3}$$

$$v = 2.39 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

El caudal en este caso se conoce, por lo que solo se hará una conversión al sistema que se estará manejando.

Caudal

$$Q = 19 \frac{L}{m} \frac{1m^3}{1000L} \frac{1min}{60seg} = 3.1666 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Diámetro de entrada y diámetro de salida

$$\phi_{Entrada} = 1.25 \text{ pulg} ; \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pug}} = 3.175 \text{ cm} ; \frac{1m}{100cm} = 0.03175m$$

$$\phi_{Entrada} = 0.75 \text{ pulg} ; \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pug}} = 1.905 \text{ cm} ; \frac{1m}{100cm} = 0.01905m$$

Cálculo de velocidades, de succión y de descarga:

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{4Q}{\pi * D_{succion}^2}$$

Velocidad de succión:

$$V_s = \frac{4(3.1616 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})}{\pi(0.03175m)^2}$$

$$V_{succion} = 0.3993 \frac{m}{s}$$

Velocidad de descarga:

$$V_d = \frac{4(3.1616 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})}{\pi(0.01905m)^2}$$

$$V_{descarga} = 1.1092 \frac{m}{s}$$

El cálculo de las pérdidas en el sistema es indispensable de conocer, ya que es necesario determinarlas debido a los cambios que sufre el sistema de inyección de aceite debido a las modificaciones que se le hace a través del tiempo.

Ecuación de la energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_a = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + E_a + \text{Perdidas}$$

$$\frac{9.81 \frac{N}{m^2}}{8260.02 \frac{N}{m^3}} + \frac{(0.3993 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} + 1.88m + E_a = \frac{24.525 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{8260.02 \frac{N}{m^3}} + \frac{(1.1092 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} + 2.10m + \text{perdidas}$$

$$1.8893m. c. a + E_a = 2971.3338 m. c. a + \text{perdidas}$$

$$E_a = 2969.4518 m. c. a + \text{perdidas}$$

Para conocer las pérdidas en el sistema de inyección de aceite es indispensable saber el tipo de flujo que se está manejando en la succión y en la descarga, para ello es necesario hacer cálculos y determinar el número de Reynolds, como se ha explicado anteriormente se procede al cálculo.

Numero de Reynolds en la succión y en la descarga:

Reynolds en succión:

$$Reynolds_{succion} = \frac{vt_{succion} * D_{succion}}{\nu}$$

$$R_{succion} = \frac{(0.3993 \frac{m}{s})(0.03175m)}{2.39 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Reynolds_{succion} = 5304.5083$$

Reynolds en descarga:

$$Reynolds_{descarga} = \frac{vt_{descarga} * D_{descarga}}{v}$$

$$R_{descarga} = \frac{(1.1092 \frac{m}{s})(0.01905m)}{2.39 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Reynolds_{desc} = 8841.1129$$

Por tanto, se concluye que los flujos en succión y en descarga son de tipo turbulento ya que anteriormente se había descrito los rangos máximos para que un flujo pudiera cumplir como turbulento.

Calculo de coeficiente de fricción en succión y en descarga.

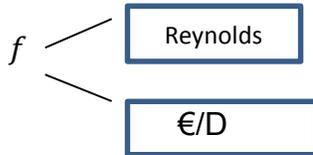
Existen dos maneras de calcular el coeficiente de fricción tanto en descarga como en succión, el primer caso es usando el diagrama de moody y el segundo método es usando la fórmula para el cálculo de coeficiente de fricción con un flujo de tipo turbulento.

Para el coeficiente de fricción es necesario conocer el número de Reynolds y el material con que está elaborada la tubería, en este caso sabemos el número de Reynolds en succión que es de 5304.5083 y en la descarga tenemos que es 8841.1129, ambos casos son turbulentos.

El material de la tubería que se utilizara es acero comercial con una rugosidad de 0.006cm, con estos datos procedemos a lo siguiente.

Coeficiente de fricción en succión

$$\epsilon = 0.006cm$$



$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.006 \text{ cm}}{3.175 \text{ cm}} = 1.8897 \times 10^{-3}$$

Con el diagrama de moody se obtuvo un valor aproximado de $f = 0.04$

Con la ecuación se obtuvo un valor más exacto:

$$f_s = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{\epsilon}{3.7D_s} + \frac{5.74}{Re_s^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_s = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{0.006 \text{ cm}}{3.7(3.175 \text{ cm})} + \frac{5.74}{5304.5083^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.039$$

$$f_s = 0.039$$

Coeficiente de fricción en descarga

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.006 \text{ cm}}{1.905 \text{ cm}} = 3.1496 \times 10^{-3}$$

Con el diagrama de moody se obtuvo un valor aproximado de $f = 0.04$

Con la ecuación se obtuvo un valor más exacto:

$$f_d = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D_d} + \frac{5.74}{Re_d^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_d = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{0.006 \text{ cm}}{3.7(1.905 \text{ cm})} + \frac{5.74}{8841.1129^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.036$$

$$f_d = 0.036$$

Conociendo los datos anterior mente deducida se procede al cálculo de las perdidas, teniendo en cuenta que las pérdidas son:

$$\text{perdidas} = hF_{Ls} + hF_{Ld} + hF_{as} + hF_{ad}$$

Calculo de las perdidas en longitud de succión (hF_{Ls})

$$hF_{Ls} = f_s \frac{L_s}{D_s} \frac{V_s^2}{2g}$$

$$hF_{Ls} = 0.039 \frac{2.10m}{0.03175m} \frac{(0.3993 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.02096 \text{ m. c. a}$$

$$hF_{Ls} = 0.02096 \text{ m. c. a}$$

Calculo de las perdidas en longitud de descarga (hF_{Ld})

$$hF_{Ld} = f_d \frac{L_d}{D_d} \frac{V_d^2}{2g}$$

$$hF_{Ld} = 0.036 \frac{2.10m}{0.01905m} \frac{(1.1092 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.2488 \text{ m. c. a}$$

$$hF_{Ld} = 0.2488 \text{ m. c. a}$$

Calculo de las perdidas por accesorios en longitud de succión (hF_{as})

$$hF_{as} = \sum k \frac{V_s^2}{2g}$$

Cantidad	Elemento	k
05	codo estándar	0.9
01	tubo a deposito	1.00
		$\sum k = 5.5$

$$\therefore hF_{as} = 5.5 \frac{(0.3993 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.0446 \text{ m. c. a}$$

$$hF_{as} = 0.0446 \text{ m. c. a}$$

Calculo de las perdidas por accesorios en longitud de descarga (hf_{as})

$$hF_{ad} = \sum k \frac{V_d^2}{2g}$$

Cantidad	Elemento	k
01	conexión de T estándar	1.8
01	codo en U	2.2
		$\sum k = 4.00$

$$hF_{ad} = 4 \frac{(1.1092 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.2508 \text{ m. c. a}$$

$$hF_{ad} = 0.2508 \text{ m. c. a}$$

$$\therefore \text{perdidas} = 0.02096 \text{ m.c.a} + 0.2488 \text{ m.c.a} + 0.0446 \text{ m.c.a} + 0.2508 \text{ m.c.a}$$

$$\text{perdidas} = 0.5651 \text{ m.c.a}$$

Como ya se había dicho que $E_a = 2969.4518 \text{ m.c.a} + \text{perdidas}$ por lo tanto se tiene que;

$$E_a = 2969.4518 \text{ m.c.a} + 0.5651 \text{ m.c.a}$$

$$E_a = 2970.016 \text{ m.c.a}$$

Para determinar la potencia de la bomba, es necesario conocer ya todos los datos que se requieren en la formula siguiente, teniendo en cuenta que la potencia en la cual se va a presentar es un sistema diferente al que se ha estado trabajando, por tanto se procede a hacer una serie de conversiones para lograr que la potencia que sea dado en HP.

$$HP = \frac{\gamma * Q * E_a}{550}$$

$$\gamma = 8260.02 \frac{N}{m^3}; \frac{1 \text{ lbf}}{4.48822 \text{ N}} \frac{1 m^3}{3.2808 \text{ ft}^3} = 52.5844 \frac{\text{Lbf}}{\text{ft}^3}$$

$$Q = 3.1616 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}; \frac{35.315 \frac{ft^3}{s}}{1 \frac{m^3}{s}} = 0.01116 \frac{ft^3}{seg}$$

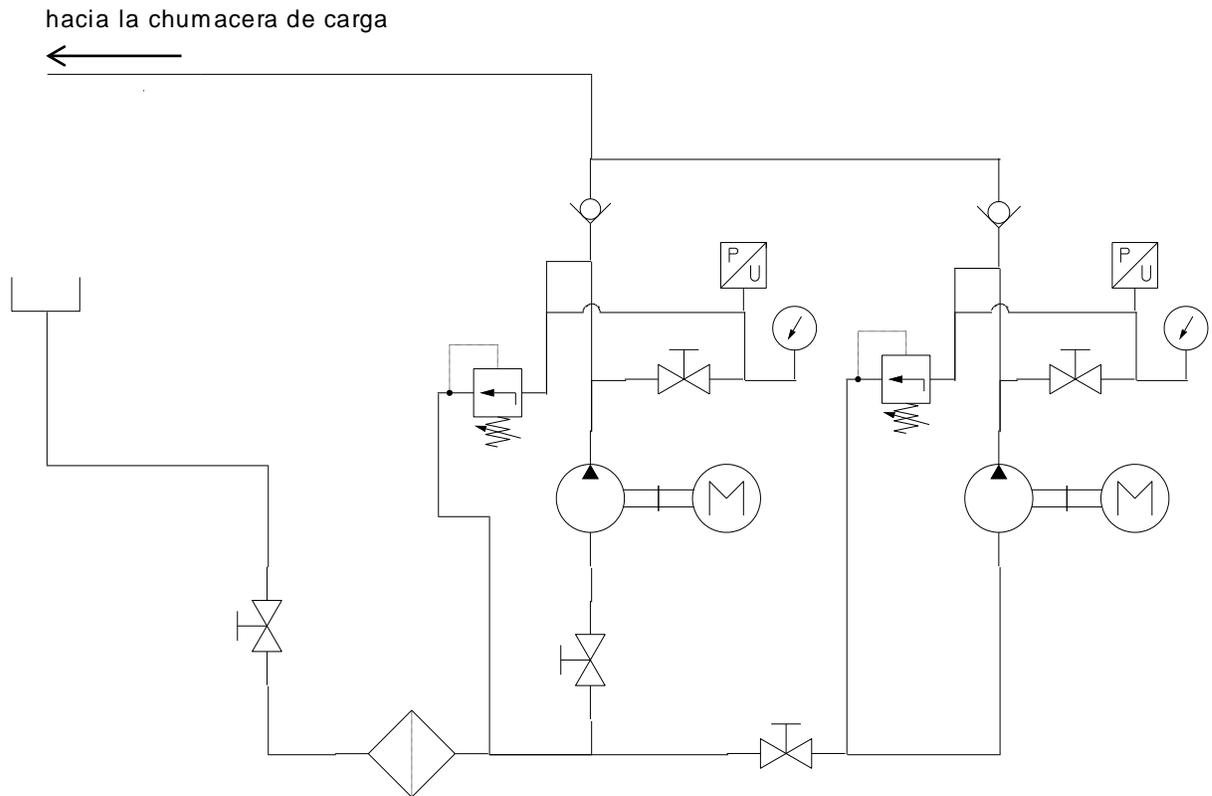
$$E_a = 2970.01696 \text{ m.c.a.} ; \frac{3.2808 \text{ ft}}{1 \text{ m}} = 9744.031 \text{ ft.c.a}$$

$$\therefore \text{HP} = \frac{(52.5844 \frac{\text{Lbf}}{\text{ft}^3})(0.01116 \frac{\text{ft}^3}{\text{seg}})(9744.031 \text{ ft})}{550} = 10.44 \approx 11 \text{HP}$$

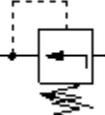
Potencia de la bomba = 11HP

Con esto se concluye que la potencia necesaria para suministrar aceite hacia la chumacera de carga para los segmentos basculantes de la turbina es de 11HP.

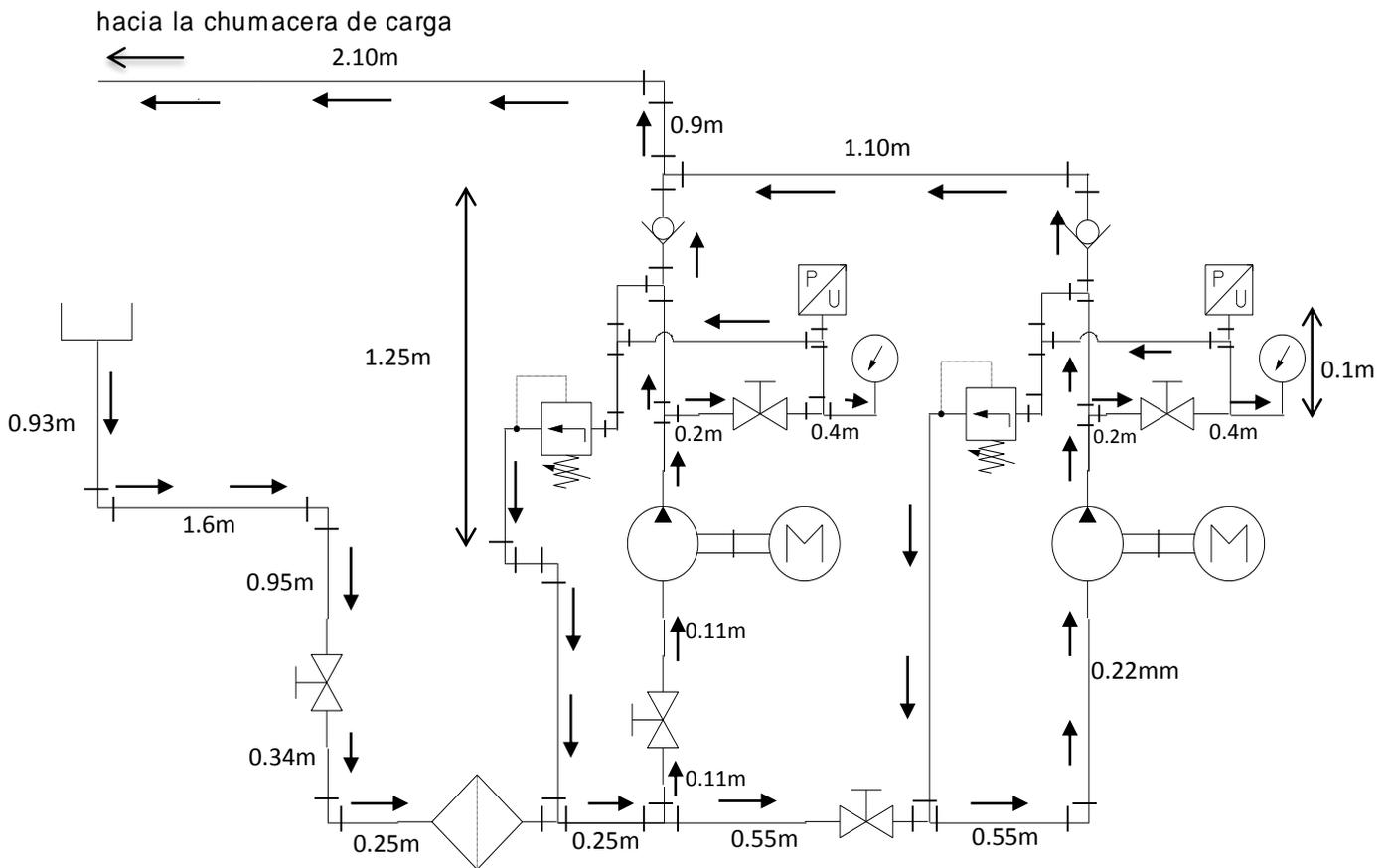
Para el diagrama del sistema de inyección de aceite se representara de la siguiente manera:



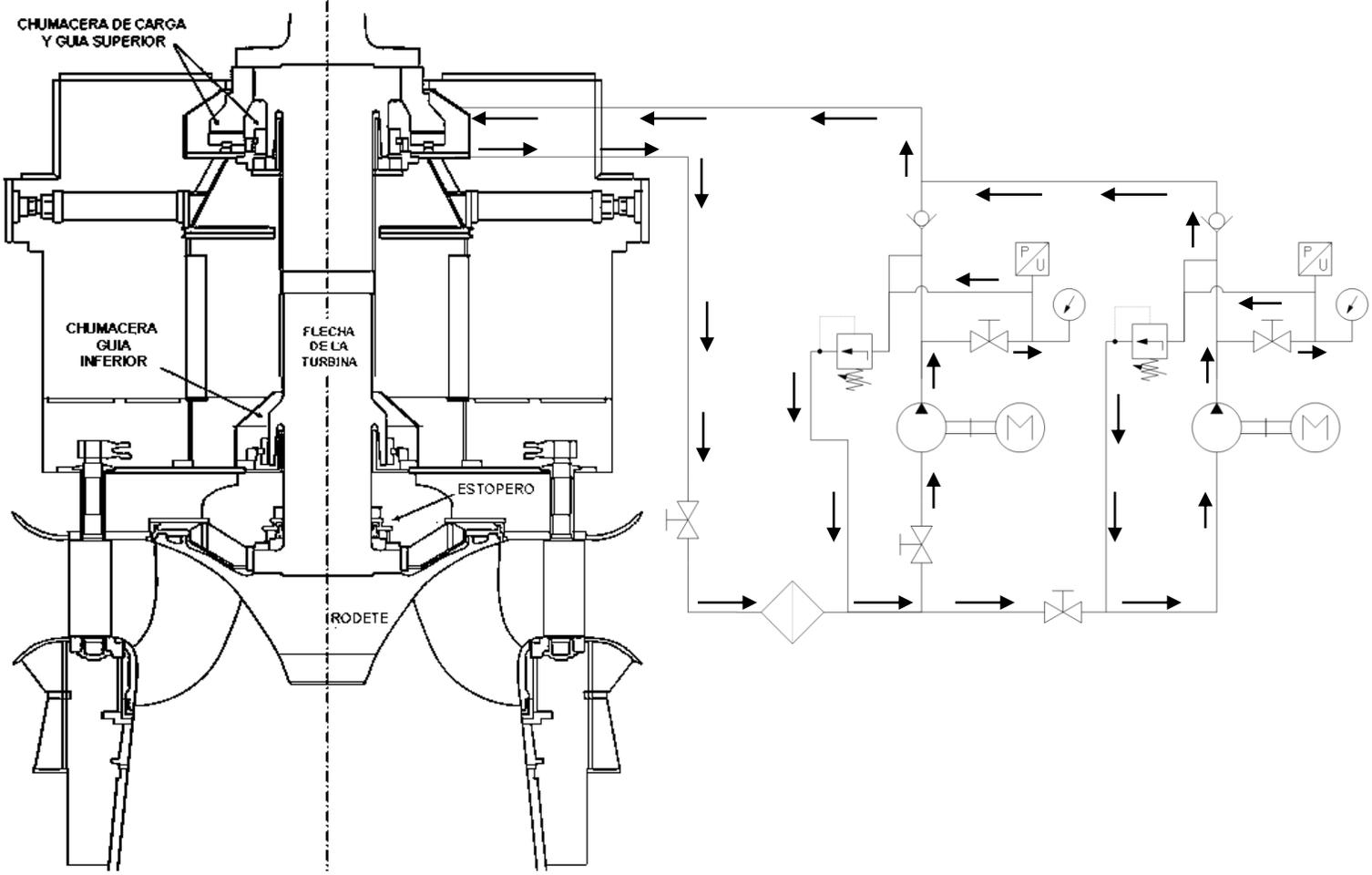
Donde los principales componentes son:

- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|  | Depósito de aceite |  | Sensor de Presión |
|  | Válvula de compuerta |  | Motor |
|  | Filtro de aceite |  | Bomba |
|  | Válvula direccional | | |
|  | Válvula de seguridad | | |

Indicando el flujo de aceite se representa de la siguiente forma:

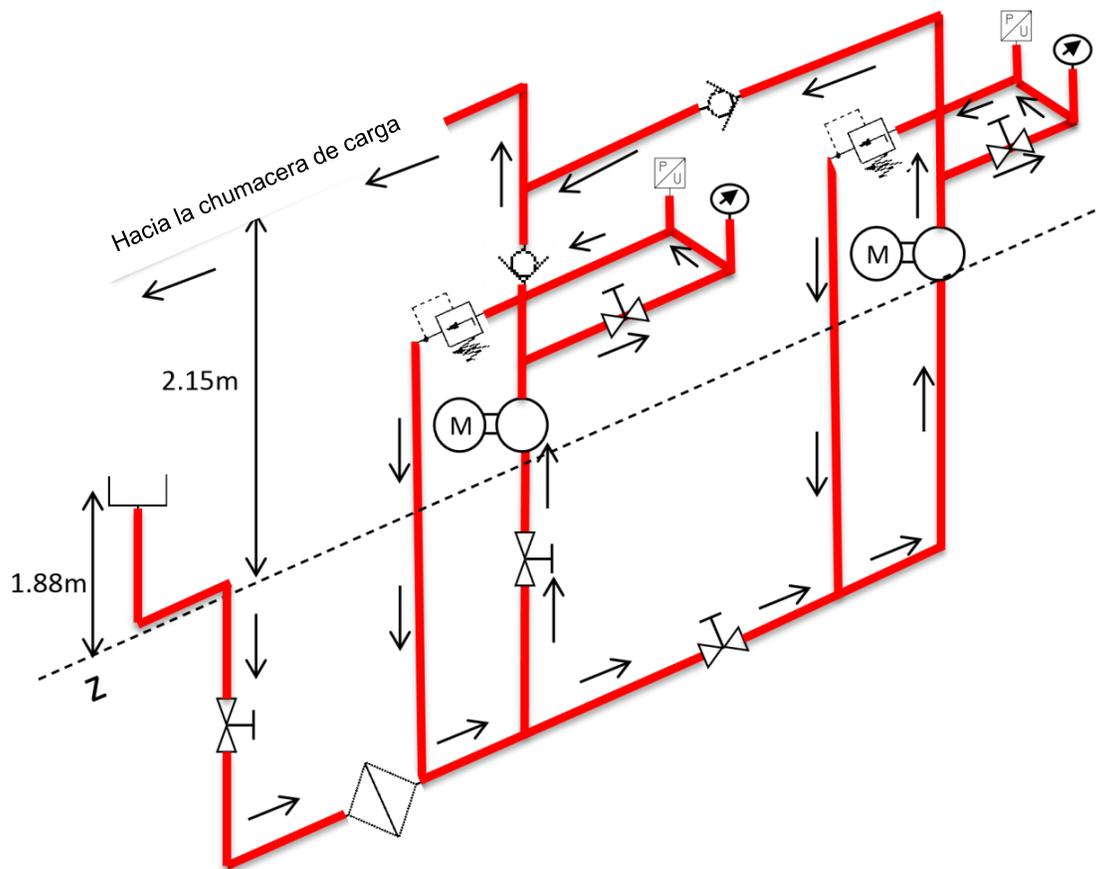


El sistema de inyección de aceite dúplex a la chumacera de carga quedaría instalado de la siguiente manera.



9.-RESULTADOS

El sistema de inyección de aceite hacia la chumacera de carga, es un sistema óptimo, ya que la instalación de una segunda bomba auxiliar, es decir, una bomba de respaldo para hacer un sistema dúplex se tomó del mismo deposito, también se colocaron válvulas que pueden hacer un sistema independiente del uno con el otro para poder dar mantenimiento a cada parte del sistema. A continuación se presenta una vista en isométrico del sistema dúplex para tener una perspectiva diferente a las representaciones anteriores.



Así también, se presenta un esquema general de circulación de aceite hacia las chumaceras de carga, estando ahí instalado el sistema de inyección de aceite dúplex.

ESQUEMA GENERAL DE CIRCULACIÓN DE ACEITE DE CHUMACERAS

Para el diseño del sistema dúplex de alimentación de aceite se usara una tubería de succión y de descarga del mismo diámetro que el de la bomba principal, con una tubería de acero comercial. La bomba de inyección principal tiene una potencia de 20 Hp. Como bien se había mencionado anterior mente, se creía que la potencia de la bomba era demasiada para suministrar la presión necesaria a las chumaceras de carga, es por ello que se hizo una serie de cálculos a partir de los datos conocidos de la tubería de succión y de descarga, y como resultado obtenido fue una potencia de 11Hp , sin embargo, en los diseños de ingeniería es necesario dar un factor confiable mayor al que arrojan los cálculos , es por ello que las bombas de inyección de aceite en las unidades de la C.H.B.D tienen una potencia de 20 hp, lo cual es la potencia a la cual se dejara el sistema de inyección de aceite.

Por tanto, los datos para el diseño quedarían establecidos de esta forma:

Datos del aceite:
Aceite Mobil DTE Oil Extra Heavy
$\rho = 842 \frac{kg}{m^3}$
$v = 2.39 \frac{m^2}{seg}$
Datos de la bomba:
Bomba marca Bucher.
Tipo: 4-H3-19
Velocidad: 1450 RPM
Presion: 300 Kg/cm ²
Potencia = 20 HP
$Q = 19 \frac{L}{min}$
Datos de tuberia:

Tubería de acero comercial
$\phi_{succion} = 1.25 \text{ pulg}$
$\phi_{descarga} = 0.75 \text{ pulg}$
$\epsilon = 0.006 \text{ cm}$

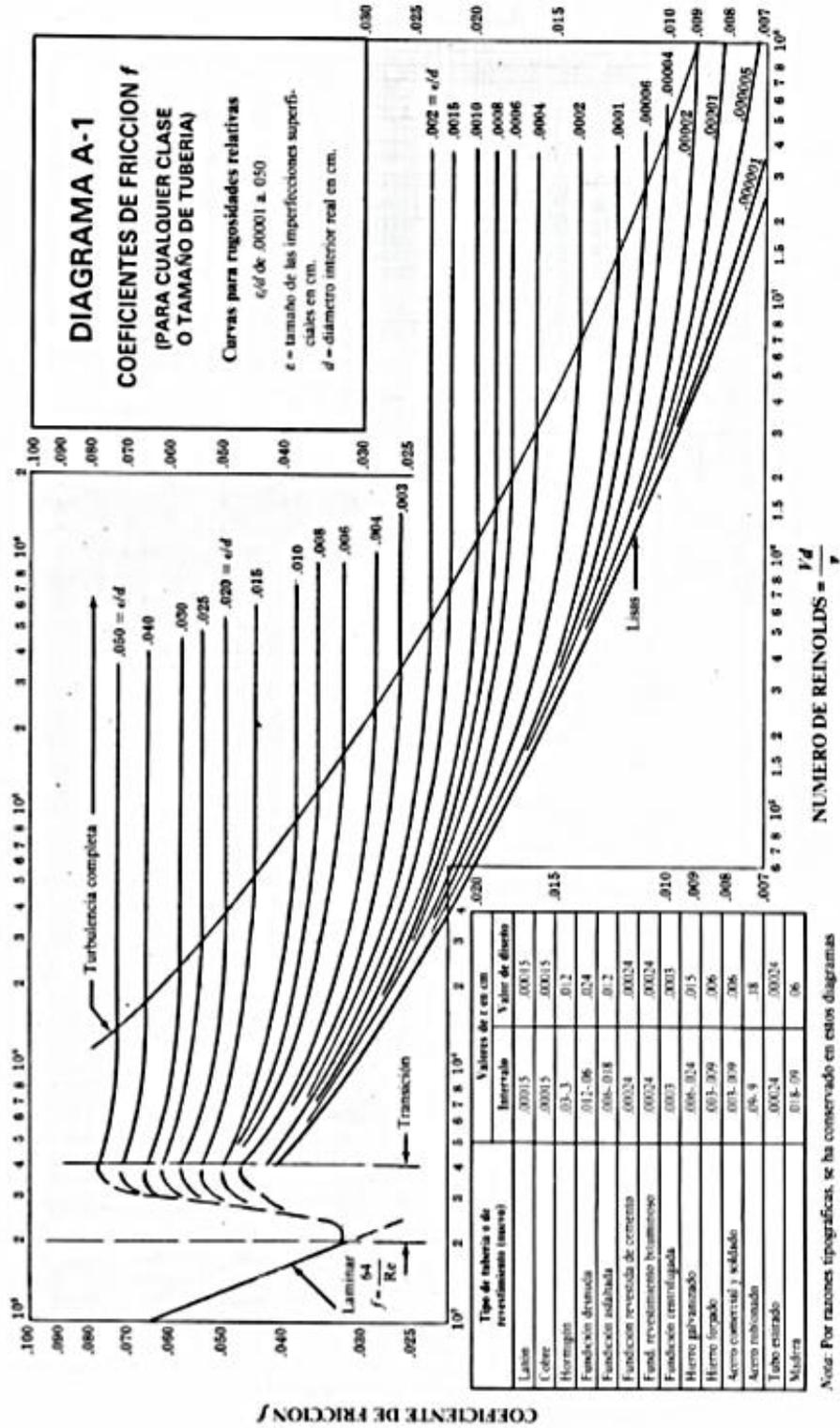
10.-CONCLUSIÓN

Los sistemas de bombeo para el izaje hidráulico deben de ser muy precisos, de tal forma que, los cálculos y las especificaciones en el sistema deben ser obligatoriamente mencionados, ya que con base a esto se toman en cuenta para la implementación de la tecnología que viene avanzando día con día. El impacto que causa el diseño que fue presentado, es bastante acertado, ya que si bien se recuerda anterior mente se menciona la importancia de una implementación de un sistema dúplex. Actual mente la central hidroeléctrica Belisario Domínguez sigue teniendo en cada una de sus unidades el mismo sistema y, a la llegada de este nuevo diseño tendrá una mayor confiabilidad al operar las unidades turbo generadoras.

11.-REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mecánica de Fluidos, Sexta Edición, Robert L. Mott, Editorial Pearson.
- Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulica, segunda edición, Claudio Mataix, Ediciones del Castillo S.A.
- Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías, CRANE, McGraw-Hill.
- Sistemas de Bombeo, Características Y Dimensionamiento, J. W. J. de Wekker V.
- Enciclopedia Encarta® 1998, Microsoft® Corporation CFE Central Escuela Celaya,
- "INTRODUCCION A LA TECNOLOGÍA DE LA C. H. BELISARIO DOMINGUEZ", 1985
- Mecánica de los fluidos e hidráulica, 3ra Edición – Ranald V. Giles, Jack B. Evett

12.-ANEXOS



Nota: Por razones tipográficas, se ha conservado en estos diagramas la notación decimal de la edición en inglés.

Abaco para encontrar coeficiente de fricción

DENSIDAD RELATIVA Y VISCOSIDAD CINEMATICA DE ALGUNOS LIQUIDOS

(Viscosidad cinemática = valor de la tabla · 10⁻⁶)

Temp (° C)	Agua**		Disolvente comercial		Tetracloruro de carbono		Aceite lubricante medio	
	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)
5	1,000	1,520	0,728	1,476	1,620	0,763	0,905	471
10	1,000	1,308	0,725	1,376	1,608	0,696	0,900	260
15	0,999	1,142	0,721	1,301	1,595	0,655	0,896	186
20	0,998	1,007	0,718	1,189	1,584	0,612	0,893	122
25	0,997	0,897	0,714	1,101	1,572	0,572	0,890	92
30	0,995	0,804	0,710	1,049	1,558	0,531	0,886	71
35	0,993	0,727	0,706	0,984	1,544	0,504	0,883	54,9
40	0,991	0,661	0,703	0,932	1,522	0,482	0,875	39,4
50	0,990	0,556					0,866	25,7
65	0,980	0,442					0,865	15,4

Temp (° C)	Aceite a prueba de polvo*		Fuel-oil medio*		Fuel-oil pesado*		Gasolina*	
	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)
5	0,917	72,9	0,865	6,01	0,918	400	0,737	0,749
10	0,913	52,4	0,861	5,16	0,915	290	0,733	0,710
15	0,910	39,0	0,857	4,47	0,912	201	0,729	0,683
20	0,906	29,7	0,855	3,94	0,909	156	0,725	0,648
25	0,903	23,1	0,852	3,44	0,906	118	0,721	0,625
30	0,900	18,5	0,849	3,11	0,904	89	0,717	0,595
35	0,897	15,2	0,846	2,77	0,901	67,9	0,713	0,570
40	0,893	12,9	0,842	2,39	0,898	52,8	0,709	0,545

Algunos otros líquidos

Líquido y temperatura	Densid. relat.	Visc. cinem. (m ² /s)
Turpentina a 20° C	0,862	1,73
Aceite de linaza a 30° C	0,925	35,9
Alcohol etílico a 20° C	0,789	1,53
Benceno a 20° C	0,879	0,745
Glicerina a 20° C	1,262	661
Aceite de castor a 20° C	0,960	1.031
Aceite ligero de máq. a 16,5° C	0,907	137

Tabla de densidad relativa y viscosidad cinemática de algunos líquidos.