

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**



**Reporte de residencia  
profesional:**



**Diseño de un sistema de achique para las excedencias del estopero del escudo inferior de la turbina Tipo Francis, con 180 Megawatts de potencia de generación de la Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez**

**Ing. Mecánica**

**David Rodrigo Toledo Balbuena**

**11270218**

**Enero – Junio del 2016**

**M.E.R. Fernando Alfonso  
May Arrijoja**

---

**Asesor Interno**

**Ing. Alejandro López Lena  
Barrios**

---

**Asesor Externo**

## INTRODUCCION

La C.H Belisario Domínguez es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por el río denominado Grijalva, para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a generadores eléctricos.

Por medio de la presa, se acumula cierta cantidad de agua formando un embalse, con el fin de generar un salto de agua cuya energía potencial pueda transformarse en energía cinética por medio de una tubería forzada.

Dicha tubería forzada se sitúa aguas arriba de la presa con una toma de admisión protegida por una rejilla metálica, esta toma de admisión tiene una cámara de compuertas que controla la admisión del agua, que tiene como finalidad llegar hasta las turbinas de la central, alojadas en casa de máquinas.

Al llegar a las turbinas, actúa sobre los álabes del rodete, haciéndolo girar y perdiendo energía. El rodete de la turbina está unido por un eje al rotor del alternador que, al girar con los polos excitados por una corriente continua, induce una corriente alterna en las bobinas del estator del alternador.

Mediante transformadores, es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión, para ser enviada a la red general mediante las líneas de transmisión. El agua, una vez que ha cedido su energía, es restituida al río, aguas debajo de la central.

La C.H Belisario Domínguez cuenta con 5 turbinas tipo Francis Escher-Wyss de 180 000 KW, en la primera etapa cuenta con 3 y en la segunda etapa cuenta con 2 respectivamente.

Los cubículos del estopero, colectan todas las excedencias de la unidad generadora que a su vez se requieren desalojar de la casa de máquinas de la central. Es por esto que se cuenta con un sistema de bombeo.

## CONTENIDO

CAPITULO 1: Generalidades del proyecto.....	8
1.1 Justificación. ....	8
1.2 Caracterización de la zona de trabajo. ....	9
1.3 Hidrología. ....	11
1.4 Ubicación.....	13
1.5 Casa de máquinas. ....	15
1.6 Política de la empresa.....	16
1.6.1 Misión. ....	16
1.6.2 Visión.....	16
1.7 Objetivos.....	17
1.7.1 Objetivo General. ....	17
1.7.2 Objetivos Específicos.....	17
1.8 Problemas a resolver.....	18
1.9 Alcances y Limitaciones.....	20
CAPITULO 2: Marco Teórico.....	21
2.1 Bombas.....	21
2.2 Aplicaciones.....	21
2.3 Clasificación de bombas.....	21
2.3.1 Bombas de desplazamiento positivo.....	22
2.3.2 Bombas rotodinámicas.....	24
2.4 Bombas Centrifugas.....	25
2.4.1 Bombas Centrifugas de un Solo Salto o Etapa.....	28
2.4.2 Bombas Acopladas directamente.....	28
2.4.3 Bombas de múltiples saltos o etapas.....	28
2.4.4 Principio de Funcionamiento.....	29
2.5 Bombas sumergibles.....	30
2.5.1 Características y funcionamiento.....	30
2.6 Caudal.....	31
2.7 Numero de Reynolds.....	32

2.7.1	Números De Reynolds Críticos. ....	33
2.7.2	Pérdidas Primarias En Tuberías. ....	33
2.7.3	Pérdidas Secundarias En Tuberías.....	37
2.8	Sensores. ....	39
2.8.1	Sensor de proximidad.....	41
2.8.2	Interruptores de posición.....	41
2.8.3	Capacitivos.....	42
2.8.4	Inductivos.....	43
2.8.5	Fotoeléctricos. ....	44
2.8.6	Ultrasónico.....	45
2.8.7	Magnético. ....	46
2.8.8	Sensores de corriente.....	47
2.9	Tuberías o mangueras. ....	48
CAPITULO 3: Proceso de cálculo y selección de tuberías y válvulas adecuadas a la bomba.....		50
3.1	Investigación del espacio a desfogar.....	50
3.2	Cálculos del caudal de los cubiculos. ....	51
3.3	Perdidas de tuberías.....	53
3.3.1	Perdidas de tuberías en la succión.....	54
3.3.2	Perdidas de tuberías en la descarga. ....	55
3.4	Calculo de pérdidas de presión secundaria. ....	56
3.5	Perdidas de carga total. ....	56
3.6	Calculo de potencia del sistema. ....	57
3.7	Sistema de arranque y paro automático. ....	61
CAPITULO 4: Conclusiones Y Recomendaciones .....		62
ANEXOS.....		63
ANEXO (1) Tabla de rugosidad absoluta de materiales .....		63
ANEXO (2) Propiedades físicas del agua.....		64
ANEXO (3) Diagrama de Moody.....		65
ANEXO (4) Valores de coeficiente K en perdidas singulares .....		66



Comisión Federal de Electricidad

ANEXO (5) Especificaciones de la bomba sumergible que opera en la C.H. Belisario Domínguez.....67

ANEXO (6) Catalogo de sensores ultrasónicos proveedor nikron .....68

BIBLIOGRAFÍA .....69

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- BUSTO DE HOMENAJE EN HONOR AL DR. BELISARIO DOMÍNGUEZ. ....	9
FIGURA 2.- ILUSTRACIÓN DE HIDROLOGÍA DE EMBALSES DE PRESAS RIO USUMASINTA. ....	11
FIGURA 3.- UBICACIÓN DE LA C.H BELISARIO DOMÍNGUEZ.....	13
FIGURA 4.- VISTA AÉREA DE LA CENTRAL. ....	14
FIGURA 5.- CASA DE MÁQUINAS DE LA C.H BELISARIO DOMÍNGUEZ. ....	15
FIGURA 6.- EXCEDENCIA EN LOS CUBICULOS DEL ESTOPERO. ....	18
FIGURA 7.- CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.....	22
FIGURA 8.- BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. ....	23
FIGURA 9.- CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. ....	23
FIGURA 10.- CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS ROTODINÁMICAS.....	24
FIGURA 11.- TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS. ....	26
FIGURA 12.- BOMBA CENTRIFUGA. ....	29
FIGURA 13.- BOMBA DE ½ HP CON EL QUE ACTUALMENTE OPERA LA CENTRAL.....	30
FIGURA 14.- BOMBAS SUMERGIBLES INDUSTRIALES. ....	31
FIGURA 15.- DIAGRAMA DE MOODY.....	37
FIGURA 16.- SENSOR DE PROXIMIDAD. ....	41
FIGURA 17.- SENSOR CAPACITIVO. ....	43
FIGURA 18.- SENSOR INDUCTIVO. ....	44
FIGURA 19.- SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO.....	45
FIGURA 20.- SENSOR ULTRASÓNICO.....	46
FIGURA 21.- SENSOR MAGNÉTICO. ....	47
FIGURA 22.- SENSOR DE CORRIENTE. ....	47
FIGURA 23.- MANGUERA INDUSTRIAL. ....	49
FIGURA 24.- VISTA DE CUBICULOS DEL ESTOPERO DE LAS TURBINAS TIPO FRANCIS (SOLIDWORKS®).....	51
FIGURA 25.- DISEÑO DEL CÁLCULO VOLUMÉTRICO DEL CUBÍCULO DEL ESTOPERO MEDIANTE (SOLIDWORKS®).....	52
FIGURA 26.- VISTA ISOMÉTRICA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE DESFOGUE (SOLIDWORKS®)...	58
FIGURA 27.- VISTA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE DESFOGUE (SOLIDWORKS®).....	49

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.- INFORMACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES DE LA C.H BELISARIO DOMÍNGUEZ.....	10
TABLA 2.- ENTRADA EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE LA C.H BELISARIO DOMÍNGUEZ.....	10
TABLA 3.- DATOS HIDROLÓGICOS Y METEOROLÓGICOS DE LA C.H BELISARIO DOMÍNGUEZ. ...	12
TABLA 4.- RUGOSIDAD PROMEDIO DE TUBERÍAS.....	35
TABLA 5.- VALORES DEL COEFICIENTE K EN PERDIDAS SINGULARES.....	38
TABLA 6.- TABLA DE PERDIDAS POR ACCESORIOS. ....	56
TABLA 7.- COMPARATIVA DE RESULTADOS. ....	60

## **CAPITULO 1: Generalidades del proyecto**

### **1.1 Justificación.**

La problemática presentada, por la cual se realiza este proyecto es para controlar el nivel del agua del estopero del escudo inferior que se incrementa cuando trabaja la unidad generadora por excedencias naturales de la misma y mantener una seguridad optima en casa de máquinas para evitar hundimientos.

Los cubículos del estopero, colecta todas las excedencias de la unidad generadora que a su vez se requieren desalojar de la casa de máquinas de la central. Es por esto que se cuenta con un sistema de bombeo.

Actualmente estas 5 turbinas cuentan con dos sistemas de bombeo en los cubículos del estopero de cada turbina, pero no cuenta con un buen diseño capaz de desfogar al 100% las excedencias que se presenta cuando trabaja la turbina, ocasionando esto fallas en las bombas que han provocado la quema de algunas de ellas, es por ello que se requiere un diseño optimo para evitar estos inconvenientes.

Este diseño ayudaría al buen funcionamiento tanto para la central como para los trabajadores, dado que cuando llega el tiempo de realizar un mantenimiento menor existe un problema para los trabajadores ya que como el sistema de bombeo no desfoga al 100% ellos tienen que realizar el trabajo, restándole tiempo de trabajo que se podría aprovechar en otras áreas.

Ante el cambio radical de la industria eléctrica, se requiere de realizar acciones que contribuyan a la mejora y optimización de recursos, es por ello que el control del nivel de los cubículos del estopero debe estar automatizado.



## 1.2 Caracterización de la zona de trabajo.

Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Que tiene por objeto la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, así como la generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica para la prestación del servicio público y la realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que se requieran para el cumplimiento de su objeto.

Comisión Federal de Electricidad cuenta con plantas que generan seis tipos de energía: Hidroeléctricas, Termoeléctricas, Geotermoelectricas, Carboelectricas, Eoloelectricas y Nucleoeléctricas.

CFE rinde un homenaje al héroe chiapaneco Belisario Domínguez, ordenando que tanto la presa como la central hidroeléctrica lleven su nombre, cambiando así el de la angostura, con que se conoció a la obra desde su proyecto hasta la entrada de operación, con el de Belisario Domínguez (Figura 1).



**Figura 1.-Busto de homenaje en honor al Dr. Belisario Domínguez.**

La planta es totalmente subterránea y tiene cinco unidades de 180 000KW cada una. Para la realización del plan integral del Grijalva, fue necesario construir el

aprovechamiento de la angostura, que reúne un conjunto de características que lo sitúan como elemento básico para la explotación del río Grijalva y que se puede emplear ventajosamente en la generación de energía, dado que su vaso de almacenamiento regulariza en promedio el escurrimiento de 9 700 millones de anuales.

Resumen técnico especificaciones de turbinas verticales:

**Tabla 1.- Información general de las unidades de la C.H Belisario Domínguez.**

No. De Unidades	5
Marca	Escher Wyss
Capacidad por unidad	184 000 Kw
Frecuencia	60 c/s
Velocidad mínima	$128.6 \frac{r}{min}$
Velocidad máxima	$245 \frac{r}{min}$
Carcasa en forma de espiral	24 alabes anti distribuidores
Alabes directrices	26
Rodete	14 alabes fijos
Capacidad efectiva	900 MW
Caudal por unidad	$219 \frac{m^3}{seg}$

**Tabla 2.- Entrada en operación de las unidades de la C.H Belisario Domínguez.**

Unidad	Entrada en operación
Unidad 1	04 de julio de 1976
Unidad 2	27 de mayo de 1976
Unidad 3	22 de noviembre de 1975
Unidad 4	15 de marzo de 1978
Unidad 5	15 de junio de 1978

### 1.3 Hidrología.

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

En virtud de su gran capacidad de embalse y ser la primera en la cascada de la cuenca del Grijalva, esta central resulta estratégica para el control de los embalses del resto de las centrales que se encuentran río abajo y mediante un buen programa de control de los niveles del vaso se asegura la generación del sistema Grijalva (Figura 2).

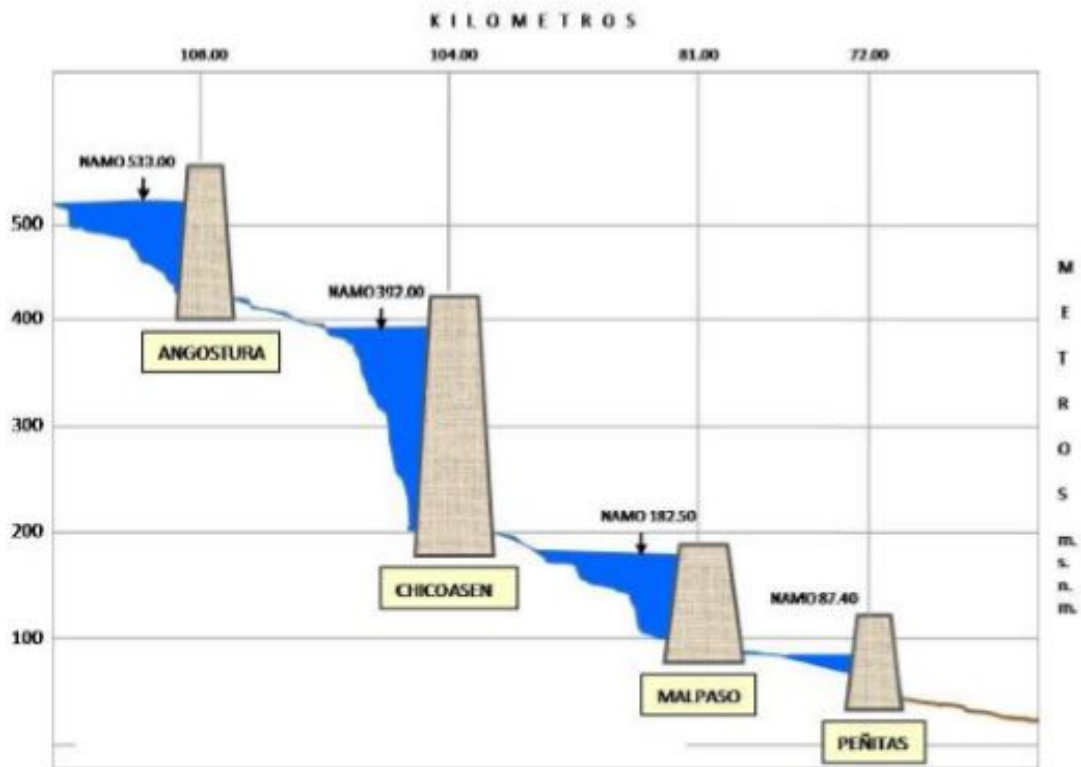


Figura 2.-Ilustración de Hidrología de embalses de presas río Usumasinta.

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

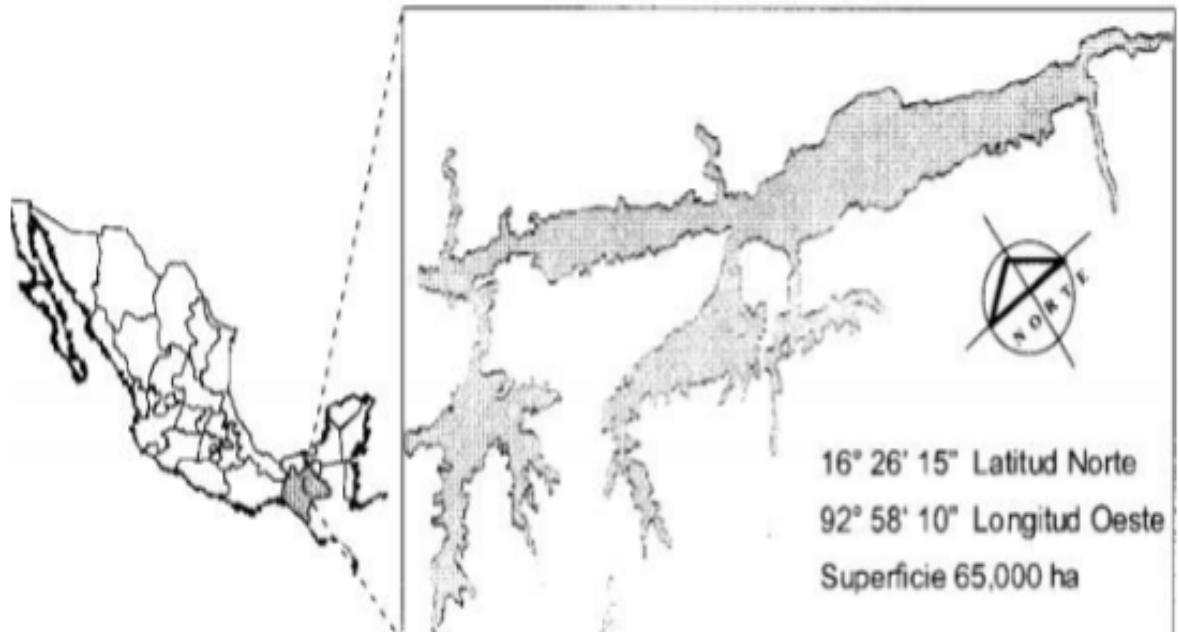
Un resumen de los datos hidrológicos y meteorológicos de la estación angostura, es el siguiente:

**Tabla 3.- Datos Hidrológicos y meteorológicos de la C.H Belisario Domínguez.**

<b>Vaso</b>	
Área de la cuenca	18 099 Km <sup>2</sup>
Longitud del embalse	100 km
Elevación máxima del parte aguas	3200 m
Elevación media de la cuenca	1 100 a 1 300 m
Elevación mínima de la cuenca	413 m
Precipitación media anual	1379 mm
Escurrencimiento media anual	9.7 x 109 m <sup>3</sup>
Escurrencimiento mínimo registrado	59 $\frac{m^3}{seg}$
<b>Avenidas</b>	
Registradas	3820 $\frac{m^3}{seg}$
Diseño para el desvió	5000 $\frac{m^3}{seg}$
Máxima extraordinaria	23000 $\frac{m^3}{seg}$
<b>Temperaturas</b>	
Media máxima / mínima mayo	39.5 C – 18.6 °C
Media máxima / mínima enero	34.1 C – 9.2 °C
<b>Elevación desfogue</b>	
	417.50 m.s.n.m
<b>Almacenamiento total</b>	18.2 x 109 m <sup>3</sup>
<b>Almacenamiento útil</b>	9.2 x 109 m <sup>3</sup>
<b>N.A.M.E</b>	539.50 m.s.n.m
<b>N.A.M.O</b>	528.10 m.s.n.m
<b>N.A min</b>	500 m.s.n.m

#### 1.4 Ubicación.

La presa Belisario Domínguez, se localiza al Sureste de la República Mexicana es una presa ubicada en el cauce del Río Grijalva a 29 Km del municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México, y a 58 km al sureste de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por la carretera número 190 (Figura 3).



**Figura 3.-Ubicación de la C.H Belisario Domínguez.**

La Central Hidroeléctrica utiliza las aguas del río Grijalva para generar energía eléctrica. El río Grijalva original se forma con corrientes que nacen en la sierra norte de Chiapas, y que ya en Tabasco reciben los nombres de Pichucalco, Teapa, Oxolotán, Amatán y Tacotalpa, los cuales al unirse forman el río La Sierra, este río atraviesa la parte central del estado de Tabasco de sur a norte, y posteriormente recibe las aguas del llamado río Viejo Mezcalapa, y es desde esta intersección que recibe el nombre de Grijalva, luego atraviesa la ciudad de Villahermosa y finalmente desemboca en el golfo de México en la barra de Frontera, en el municipio de Centla (Figura 4).



**Figura 4.-Vista aérea de la Central.**

### 1.5 Casa de máquinas.

La “casa de máquinas” de tipo subterráneo (Figura 5), es construida en el interior de una roca montañosa de la margen derecha y su acceso es a través de un túnel de 640m de longitud, su construcción se efectuó con dos etapas alojando en la primera de ellas a las unidades 1, 2, 3 y en la segunda etapa 4 y 5. Cuenta con diferentes elevaciones o también llamados pisos: bóveda, aire acondicionado, piso de generador, piso de barra, piso de turbina, línea de centros de turbinas, puerta de inspección del rodete, galería de inspección, asiento tubo de succión y galería de drenaje.

Las 5 turbinas de la central son de tipo Francis vertical y se encuentran alojadas en la caverna que forma la casa de máquinas, localizadas en la elevación 420.30 m.s.n.m.

La rotación es en sentido a las manecillas del reloj, vista desde arriba, cuenta con una carcasa espiral, es de construcción completamente soldado de acero de construcción de grano fino con un total de 24 alabes ante distribuidores que fueron soldados en los talleres del fabricante efectuando pruebas hidrostáticas con una presión de  $20 \frac{KIP}{cm^2}$ , 26 alabes directrices y un rodete de acero al carbón con 13% cromo y 1% níquel con 14 alabes totalmente fijos.



**Figura 5.-Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez.**

## **1.6 Política de la empresa.**

Prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, así como la generación y comercialización de electricidad y otros servicios relacionados, que generen valor económico y rentabilidad, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para el desarrollo nacional. Considerando los aspectos ambientales y de seguridad, y la mejora continua de la eficacia del Sistema Integral de Gestión, con el compromiso de:

- ✓ Formar y desarrollar el capital humano.
- ✓ Gestión eficiente de los riesgos.
- ✓ Prevenir la contaminación y aprovechar de manera responsable los recursos naturales.
- ✓ Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.
- ✓ Mejorar continuamente la gestión y los resultados de la Comisión Federal de Electricidad.

### **1.6.1 Misión.**

Desarrollar actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales generando valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad, en beneficio de la población y contribuir con ello al desarrollo nacional.

### **1.6.2 Visión.**

Ser una empresa de energía, de las mejores a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera y 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.



## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema de achique para controlar el nivel del agua del estopero del escudo inferior que se incrementa cuando trabaja la unidad generadora por excedencias naturales de la misma y mantener una seguridad óptima en casa demaquinas para evitar hundimientos.

### 1.7.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un estudio del funcionamiento de los sistemas que actualmente se encuentran instalados y en operación para hacer una evaluación y proponer las mejoras necesarias.
- Determinar las adecuaciones a realizar para la instalación de las bombas (WE0511H GouldsSubmersibleSumpPump) para su integración en el sistema.
- Cálculo de tuberías y válvulas adecuadas a las bombas que se instalaran.
- Reemplazo del sistema de arranque y paro automático (flotador) por sensores que implican la automatización del sistema.

## 1.8 Problemas a resolver.

Actualmente el sistema de achique utilizado para el desfogue de las excedencias de los cubículos del estopero de las turbinas tipo Francis en casa de maquinas de la C.H Belisario Domínguez cuenta con un problema, dado que no opera al 100% de lo que se requiere.

Las turbinas cuentan con 10cubiculos cada una en el cual se utiliza 2 sistemas de achique para retirar las excedencias que se presenta, el principal problema recae en que cuando se activan las 2 bombas desfogan rápidamente el nivel del cubículo en donde están instaladas, dejando los demás cubiculos que están conectadas a ellas con un 50% de excedencias aproximadamente.

Esto debido que las bombas operan con un flotador, que cuando baja el nivel del agua en el cubículo instalado, indica que se pare la bomba, no permitiendo el desfogue de los demás cubiculos.

Este inconveniente que se presenta es un contratiempo para los trabajadores cuando se requiere dar mantenimiento menor a las turbinas, dado que retrasa los tiempos de maniobra de desmontaje del estopero, requiriendo el desfogue manualmente ante el inconveniente de las bombas (ver Figura 6).



**Figura 6.-Excedencia en los cubiculos del estopero.**

Y el último inconveniente que se presenta es la parte de los flotadores, ya que por la suciedad en las excedencias, hacen que se cree cierto lodo que se adhieren a los flotadores que a su vez los va deteriorando y hacen que su funcionamiento no sea el óptimo, por lo siguiente provocando fallas en las bombas que por lo general lleva a que se quemen las mismas y provocando un gasto innecesario a la empresa.

## **1.9 Alcances y Limitaciones.**

El proyecto de residencia profesional pretende un diseño capaz de modernizar y mejorar el sistema de achique del estopero que opera en la C.H. Belisario Domínguez, para la óptima operación en casa de maquinas, mejorar y facilitar las labores del personal mecánico, ya sea en rutinas como en mantenimientos.

También se pretende mantener las condiciones adecuadas de los equipos que lo rodean y así evitar contratiempos y mayor durabilidad de los mismos.

Uno de los aspectos principales sería el reutilizar el mayor equipo posible que se encuentre instalado para evitar gastos innecesarios, siempre y cuando los equipos se encuentren en buen estado para seguir operando.

Debido a que al proyecto corresponde únicamente a un diseño de achique para controlar los niveles de agua de las excedencias, el presente trabajo únicamente se limita a recomendar un diseño para la operación óptima del mismo todo esto respecto a una base de cálculos realizados.

En lo que se refiere al reemplazo del sistema de arranque y paro automático (flotador) por sensores se hará una recomendación dado que el sistema actual tiene muchas deficiencias en la hora de la operación, no dando buenos resultados.

La puesta en marcha, utilización de los resultados y datos propuestos y obtenidos será decisión únicamente de CFE.

## **CAPITULO 2: Marco Teórico**

### **2.1 Bombas.**

Es una maquina generadora, que absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro.

### **2.2 Aplicaciones.**

Se emplean para bombear toda clase de fluidos como agua, aceite de lubricación, combustibles, ácidos; algunos otros líquidos alimenticios, como son cerveza y leche; también se encuentran los sólidos en suspensión como pastas de papel, mezclas, fangos y desperdicios.

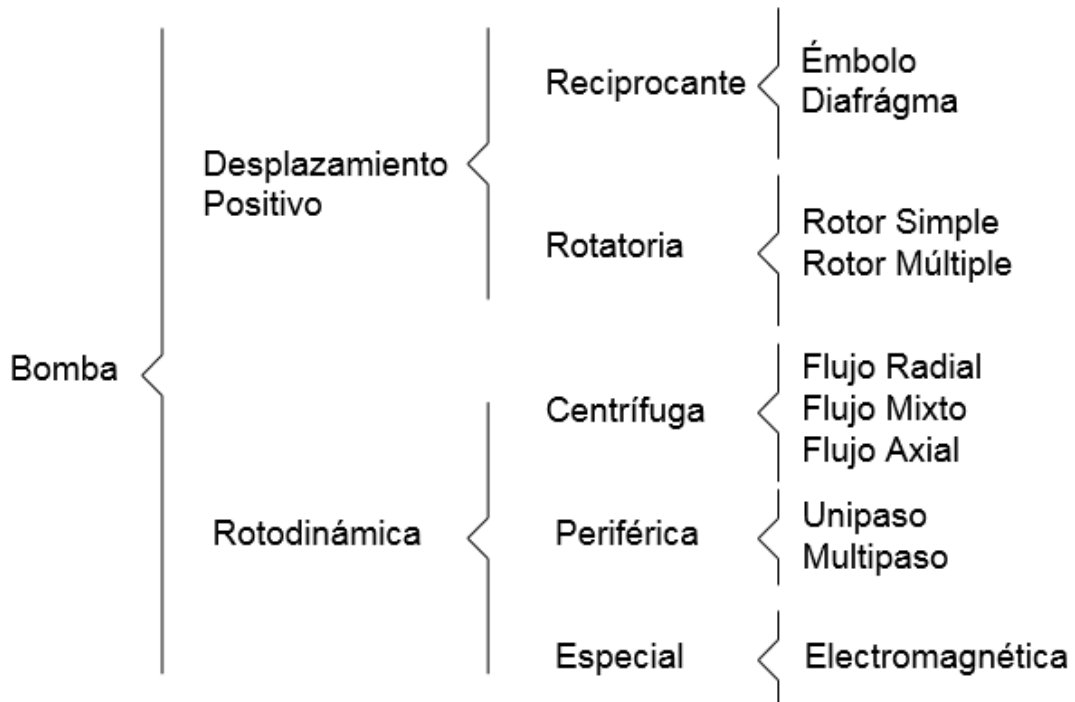
### **2.3 Clasificación de bombas.**

Las bombas se clasifican con base en una gran cantidad de criterios, que van desde sus aplicaciones, materiales de construcción, hasta su configuración mecánica.(Tyler, 1976)

Algunas bombas funcionan con un movimiento alternativo y otras con movimiento de rotación continuo, aunque el sistema de movimiento no permite su clasificación desde el punto de vista rotacional, por el contrario, su modo de accionar si permite clasificarlas.(Tyler, 1976)

Un criterio básico que incluye una clasificación general, es el que se basa en el principio por el cual se adiciona energía al fluido, bajo este criterio las bombas se clasifican en 2 grupos (Figura 7):

- a) Bomba de desplazamiento positivo
- b) Bomba rotodinámica.



**Figura 7.-Clasificación de las bombas.**

### **2.3.1 Bombas de desplazamiento positivo.**

(Tyler, 1976) A este tipo pertenecen no solo las bombas alternativas, sino también las rotativas llamadas rotoestáticas; en ellas el rodete comunica energía al fluido en forma de presión. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo.

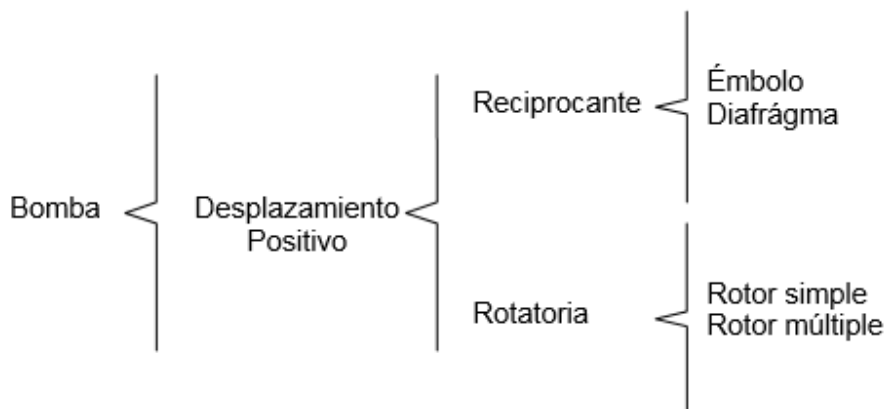
En una bomba de desplazamiento positivo, la cavidad de la máquina, cuyo volumen varía periódicamente, va unida de forma alternativa al orificio de aspiración o al de descarga. El desplazamiento del líquido se efectúa por volúmenes de engendrados. (Tyler, 1976)

Las bombas volumétricas pueden ser de movimiento alternativo o rotativo continuo (Figura 8).



**Figura 8.-Bomba de desplazamiento positivo.**

En la siguiente imagen se muestra la clasificación de las bombas de desplazamiento positivo. (Figura 9).



**Figura 9.-Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.**

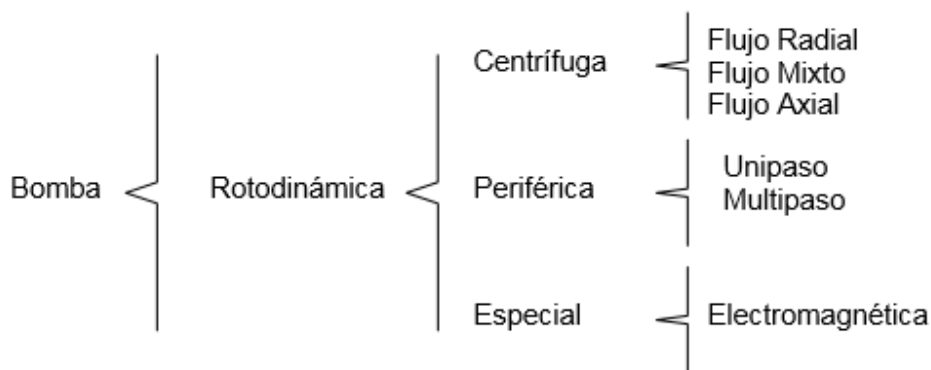
Bomba reciprocante: Es un dispositivo mecánico de desplazamiento positivo, es decir, recibe un volumen fijo de líquido en condiciones casi de succión, lo comprime a la presión de descarga y lo expulsa por la boquilla de descarga.

Bomba rotatoria: Este tipo de movimiento es el que traslada el fluido desde la aspiración hasta la salida de presión. Según el elemento que transmita tal movimiento, se clasifican en bombas de engranajes, paletas, pistones etc.

### 2.3.2 Bombas rotodinámicas.

Son rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler, su órgano de transmisión de energía se llama rodete. (Tyler, 1976)

(Tyler, 1976) Se llaman rotodinámicas por que su movimiento es rotativo y el rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética. La energía mecánica que recibe puede ser de un motor eléctrico, térmico, etc. Y posteriormente la convierte en energía hidráulica, que el fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad (Figura 10).



**Figura 10.-Clasificación de las bombas rotodinámicas.**

La principal forma de clasificación de las bombas rotodinámicas es separarlas en bombas axiales, mixtas y radiales, según la dirección de salida del flujo con respecto al eje. El nombre común para las radiales es bombas centrífugas.

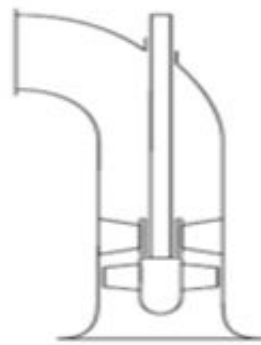


## 2.4 Bombas Centrifugas.

(Igor, 1989) La bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor. Son máquinas basadas en la Ecuación de Euler.

Las Bombas Centrifugas se pueden clasificar de diferentes maneras (Figura 11):

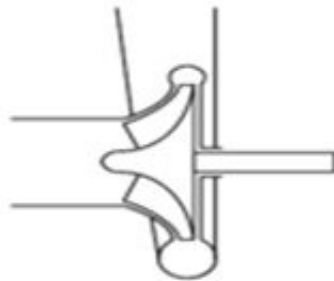
- Por la dirección del flujo en: radial, axial y mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha en: horizontales, verticales e inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: voluta y las de turbina.
- Por el diseño de la mecánica coraza en: axialmente bipartidas y las radialmente bipartidas.
- Por la forma de succión en: sencilla y doble.



Bomba axial



Bomba mixta



Bomba centrífuga

**Figura 11.-Tipos de Bombas Centrifugas.**

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, en pascales (Pa), metros de columna de agua (m.c.a), o pie-lb/lb de líquido, es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Tradicionalmente la presión proporcionada por la bomba en metros de columna de agua o pie-lb/lb se expresa en metros o en pies y por ello que se denomina genéricamente como "altura", y aún más, porque las primeras bombas se dedicaban a subir agua de los pozos desde una cierta profundidad (o altura).(Igor, 1989)

(Igor, 1989)Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso. Las más comunes son las que están

construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único impulsor, que abarcan capacidades hasta los 500 m<sup>3</sup>/h y alturas manométricas hasta los 100 metros con motores eléctricos de velocidad normalizada. Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios impulsores sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos. En este caso se habla de bomba multifásica o multietapa, pudiéndose lograr de este modo alturas del orden de los 1200 metros para sistemas de alimentación de calderas.

Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de impulsos de baja frecuencia.

Los impulsores convencionales de bombas centrífugas se limitan a velocidades en el orden de 60 m/s (200 pie/s).

## **Tipos de bombas centrífugas:**

### **2.4.1 Bombas Centrífugas de un Solo Salto o Etapa.**

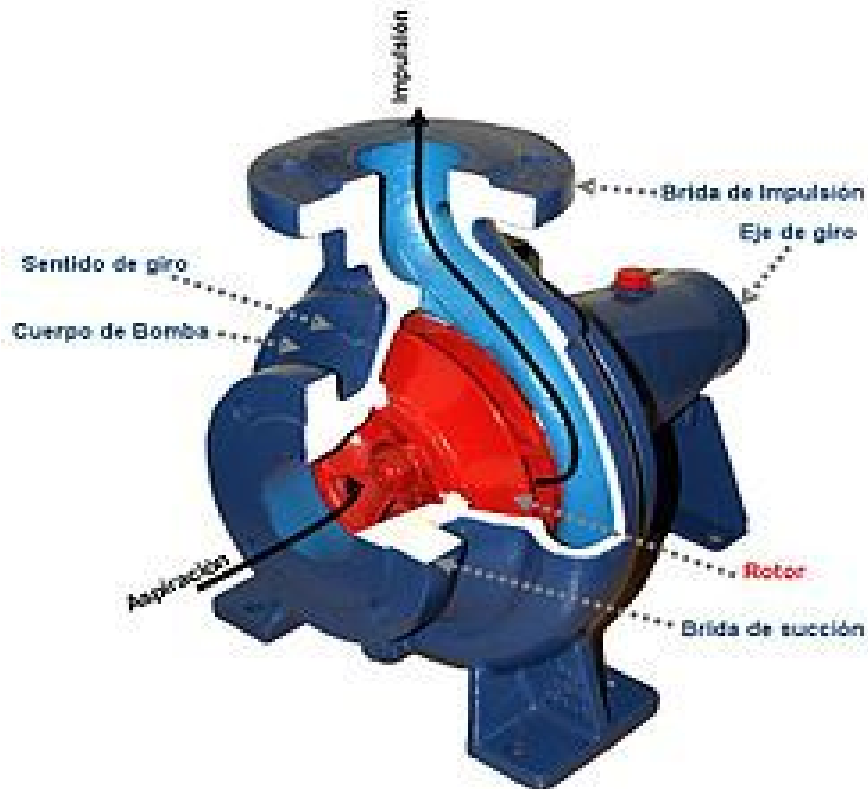
El término bombas para compuestos químicos se suele aplicar a las de un salto y de diseño simple. Estas bombas se construyen de modo que resulte fácil desmontarlas, que sean accesibles y con prensaestopas especiales para manejar líquidos corrosivos. Se emplean para servicios generales de abastecimiento y circulación de agua y para manipular compuestos químicos que no corroan el hierro ni el bronce.

### **2.4.2 Bombas Acopladas directamente.**

Estas unidades, en las que el motor eléctrico, o a veces una turbina de vapor, está montado directamente sobre el mismo eje que el rodete, son sumamente compactas y apropiadas para una gran variedad de servicios cuando es posible emplear en su construcción hierro y bronce.

### **2.4.3 Bombas de múltiples saltos o etapas.**

Estas bombas se usan en general para los servicios que exigen cargas (presiones) mayores que las que se consiguen con las bombas de un solo salto. Estos servicios incluyen las bombas de alta presión para abastecimientos de agua, las bombas para combatir los incendios, las de alimentación de calderas y las de carga para las refinerías. Las bombas de múltiples saltos, o varios rodetes, pueden ser de voluta o de difusor (Figura 12).



**Figura 12.-Bomba centrífuga.**

#### **2.4.4 Principio de Funcionamiento.**

(Igor, 1989) Las bombas centrífugas son máquinas denominadas "receptoras" o "generadoras" que se emplean para hacer circular un fluido en contra de un gradiente de presión. Para que un fluido fluya desde donde hay mayor presión hasta donde hay menos presión no se necesita ningún gasto de energía (Por ejemplo: un globo desinflándose, o un líquido desplazándose desde donde la energía potencial es mayor hasta donde es menor) pero, para realizar el movimiento inverso, es necesaria una bomba, la cual le comunica al fluido energía, sea de presión, potencial o ambas. Para esto, necesariamente se tiene que absorber energía de alguna máquina motriz, ya sea un motor eléctrico, uno de combustión interna, o una turbina de vapor o gas, etc.

## 2.5 Bombas sumergibles.

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

### 2.5.1 Características y funcionamiento.

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba sienta en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

En la siguiente figura se puede observar la bomba con la que actualmente cuenta la central.



**Figura 13.-Bomba de ½ HP con el que actualmente opera la Central.**

Las bombas sumergibles (Figura 13) tienen muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se

colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua.



**Figura 14.-Bombas sumergibles industriales.**

## **2.6 Caudal.**

El caudal volumétrico es el volumen del líquido que fluye a través de un tubo en un tiempo definido. En la hidráulica se emplea el símbolo Q para denominar el caudal volumétrico y se emplea la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{V}{T} \qquad \text{Ec. ( 1 )}$$

Q= Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

V= Volumen (m<sup>3</sup>)

T= Tiempo (s)

O también se puede emplear la ecuación:

$$Q = A * V \quad \text{Ec. ( 2 )}$$

Donde:

Q = Caudal

A=Áreadel orificio

V = Velocidad

## 2.7 Numero de Reynolds.

(Mott, 2006)El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón se desea tener medios para predecir el tipo de flujo sin la necesidad de observarlo. La observación directa es imposible para fluidos que se encuentran en conductos opacos. Se pueden mostrar experimentalmente y verificar analíticamente que el carácter del flujo en un conducto redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido  $\rho$ , la viscosidad del fluido  $\mu$ , el diámetro del conducto D y la velocidad promedio del flujo, V.

Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que un flujo laminar o turbulento puede ser predicho si se conoce la magnitud de un número adimensional, conocido ahora como el número de Reynolds (NR, Re). La siguiente ecuación muestra la definición básica del número de Reynolds.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad \text{Ec. (3)}$$

Si  $NR \leq 2000$ , el flujo es laminar.

Si  $NR \geq 4000$ , el flujo es turbulento.



NR = número de Reynolds.

$v$  = velocidad promedio del flujo.

D = diámetro del conducto.

$\rho$  = densidad del fluido.

$\mu$  = viscosidad del fluido

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

Los flujos que tienen un número de Reynolds grande, típicamente debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o a ambas, tienen a ser turbulentos. Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad y/o que se mueven a bajas velocidades tendrán un número de Reynolds pequeño y tendrán a ser laminares.

### **2.7.1 Números De Reynolds Críticos.**

Para aplicaciones prácticamente en flujos de conductos, tenemos que si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, el flujo será laminar.

Tenemos también que si el número de Reynolds es mayor que 4000, se puede suponer que el flujo es turbulento. En el intervalo de número de Reynolds comprendido entre 2000 y 4000, es imposible predecir qué tipo de flujo existe; por consiguiente, este intervalo se conoce como región crítica. Si se encuentran que el flujo de un sistema está en la región crítica, la práctica normal consiste en cambiar la rapidez de flujo o el diámetro del conducto para hacer que el flujo sea claramente laminar o turbulento. Esto hace un análisis más preciso. (Mott, 2006)

### **2.7.2 Pérdidas Primarias En Tuberías.**

(Mott, 2006) Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto principalmente en los tramos de tubería de sección constante.

La pérdida de carga (m) Ecuación De HagenPoiseuille.

$$m = \frac{32\mu LV}{\gamma d^2} \quad \text{ó}$$

Ec. ( 4 )

$$h_f = \frac{32LV\vartheta}{gd^2}$$

También la Ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Ec. ( 5 )

Dónde:

$h_L$  = pérdida de energía debido a la fricción (N\*m/N, m, lb-pie/lb o pies)

L = longitud de la corriente del flujo (m o pies)

D = diámetro de la tubería (m o pies)

$v$  = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

$f$  = factor de fricción (adimensional)

La ecuación (4) de Poiseuille se aplica únicamente para flujo laminar mientras que la ecuación (5) de Darcy se utiliza para flujos laminares y turbulentos.

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción adimensional  $f$ .

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción. El flujo turbulento es

caótico y varía 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 dimensionales, 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 la pared  $\epsilon$ . La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material de que está hecho el tubo y el método de fabricación. Debido a que la rugosidad es algo irregular, con el fin de obtener su valor global tomaremos valores promedios.

Se ha determinado el valor  $\epsilon$  de la rugosidad promedio de la pared de tuberías y tubos existentes comercialmente. Estos son sólo valores promedios para tuberías nuevas y limpias tabla 4. Es de esperarse cierta variación. Una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared.

**Tabla 4.- Rugosidad promedio de tuberías.**

<b>RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES</b>			
<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>	<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

(Mott, 2006) Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en la (figura 15), el diagrama muestra la gráfica del factor de fricción  $f$  versus el número de Reynolds  $NR$  con

una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa  $\varepsilon/D$ . estas curvas las generó L.F. Moody.

Se grafica en escalas logarítmicas tanto a  $f$  como  $N_R$ , debido al rango tan amplio de valores que se obtienen. A la izquierda de la gráfica, para número de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación  $f = 64/N_R$  para el flujo laminar.

Para  $2000 < N_R < 4000$  no hay curvas, debido a que ésta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. El cambio de flujo laminar a turbulento da como resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de  $N_R = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de  $\varepsilon/D$ . Se hacen algunas observaciones importantes acerca de estas curvas:

- 1) Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , el factor de fricción  $f$  disminuye.
- 2) Para una rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , el factor de fricción  $f$  disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
- 3) Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ningún efecto sobre el factor de fricción.
- 4) Conforme se incrementa la rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa.

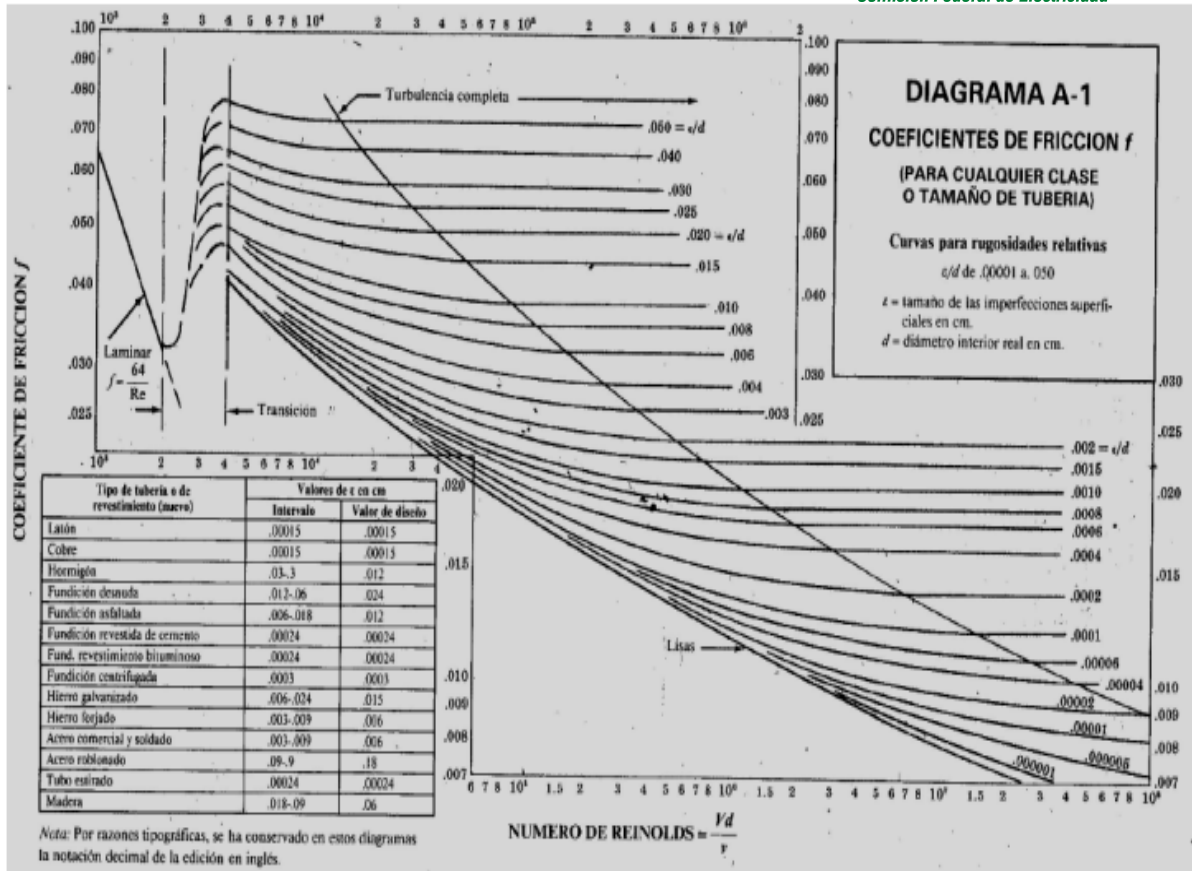


Figura 15.-Diagrama de Moody.

### 2.7.3 Pérdidas Secundarias En Tuberías.

(Mott, 2006) Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tubería. Para encontrar las pérdidas por accesorios tenemos:

$$h_a = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

$h_a$  = pérdida de carga secundaria.

K = coeficiente de adimensional de pérdida de carga secundaria.

V = velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor. Lo correcto será indicar junto al valor de K la velocidad V que hay que tomar en cada caso. Tabla 5 muestra los valores del coeficiente K.

**Tabla 5.- Valores del coeficiente K en pérdidas singulares.**

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Finalmente la pérdida de carga total se da con:

$$h_T = h_L + h_a \quad \text{Ec. ( 7 )}$$

Dónde:

$h_T$  = pérdida de carga total en metros

$h_L$  = pérdida de carga por tubería

$h_a$  = pérdida de carga por accesorios

## 2.8 Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo:

- Temperatura
- Intensidad lumínica
- Distancia
- Aceleración
- Inclinación
- Desplazamiento
- Presión
- Fuerza
- Torsión
- Humedad
- Movimiento
- Etc.

Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Áreas de aplicación de los sensores:

1. Industria automotriz
2. Robótica
3. Industria aeroespacial
4. Medicina
5. Industria de manufactura
6. Entre otros.

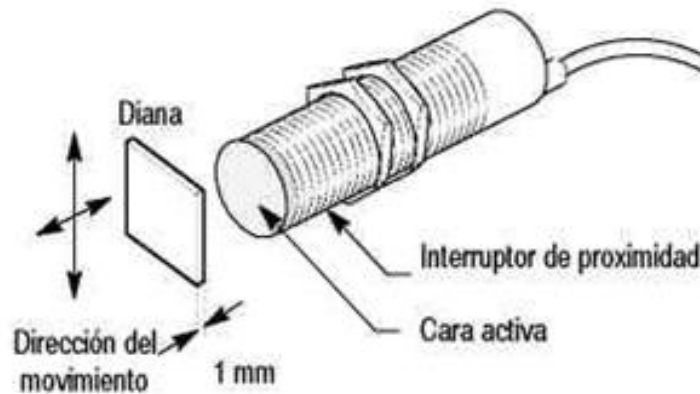
Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un visualizador) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.



### 2.8.1 Sensor de proximidad.

Un sensor de proximidad (Figura 16) es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor.



**Figura 16.-Sensor de proximidad.**

Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Los más comunes son:

- a) Los interruptores de posición
- b) Los detectores capacitivos
- c) Los inductivos
- d) Los fotoeléctricos

### 2.8.2 Interruptores de posición.

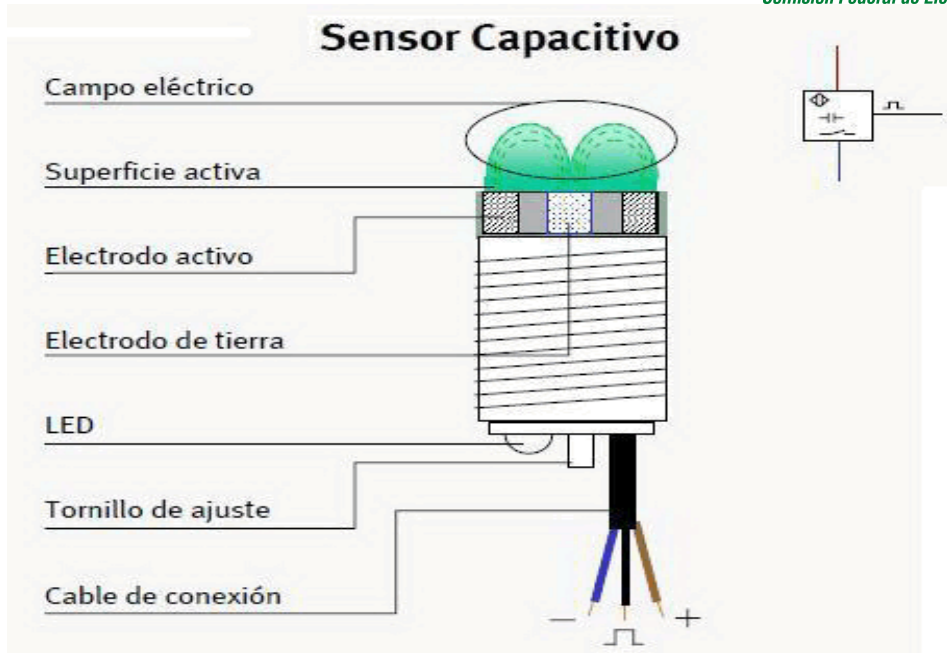
El final de carrera o sensor de contacto también conocido como "interruptor de límite" o "limitswitch", son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.

### **2.8.3 Capacitivos.**

La función del detector capacitivo (Figura 17) consiste en señalar un cambio de estado, basado en la variación del estímulo de un campo eléctrico. Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño, y distancia hasta la superficie sensible del detector. Los detectores capacitivos están contruidos sobre la base de un oscilador RC. Debido a la influencia del objeto a detectar, y del cambio de capacitancia, la amplificación se incrementa haciendo entrar en oscilación el oscilador. El punto exacto de ésta función puede regularse mediante un potenciómetro, el cual controla la realimentación del oscilador.

La distancia de actuación en determinados materiales, pueden por ello, regularse mediante el potenciómetro. La señal de salida del oscilador alimenta otro amplificador, el cual a su vez, pasa la señal a la etapa de salida. Cuando un objeto conductor se acerca a la cara activa del detector, el objeto actúa como un condensador. El cambio de la capacitancia es significativo durante una larga distancia. Si se aproxima un objeto no conductor, ( $>1$ ) solamente se produce un cambio pequeño en la constante dieléctrica, y el incremento en su capacitancia es muy pequeño comparado con los materiales conductores.



**Figura 17.-Sensor Capacitivo.**

Este detector se utiliza comúnmente para detectar material no metálico: papel, plástico, madera, etc. ya que funciona como un condensador.

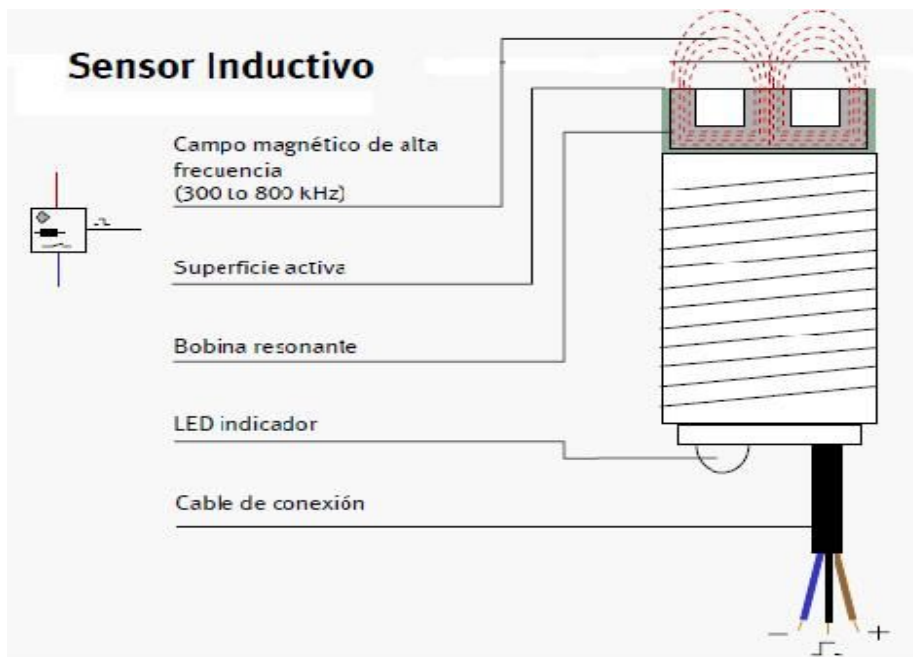
### 2.8.4 Inductivos.

Los sensores inductivos (Figura 18) de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida.

Al aproximarse un objeto "metálico" o no metálico, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF".

El funcionamiento es similar al capacitivo; la bobina detecta el objeto cuando se produce un cambio en el campo electromagnético y envía la señal al oscilador, luego se activa el disparador y finalmente al circuito de salida hace la transición entre abierto o cerrado.



**Figura 18.-Sensor Inductivo.**

### **2.8.5 Fotoeléctricos.**

El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo (Figura 19).

El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez. Esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor.

Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos, los sensores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos.

## Sensor fotoeléctrico (infrarrojo)

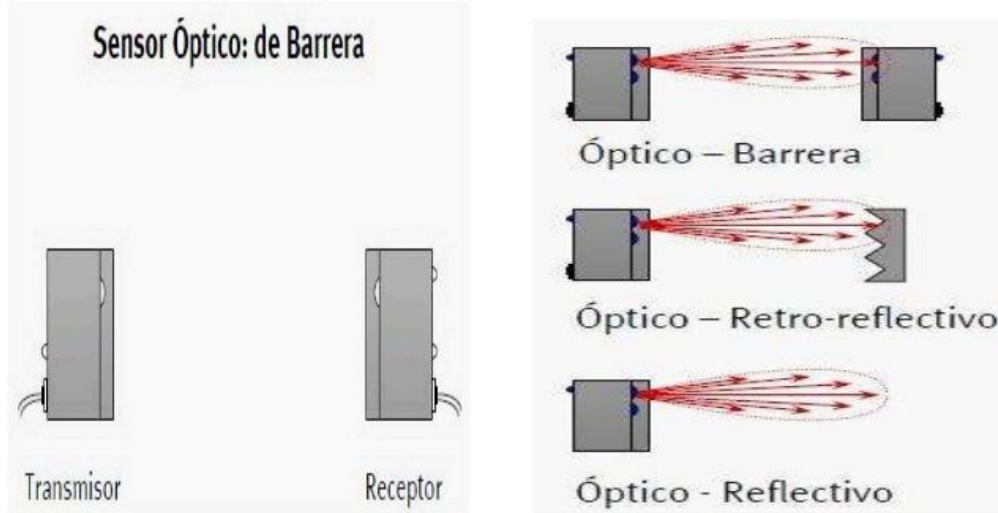


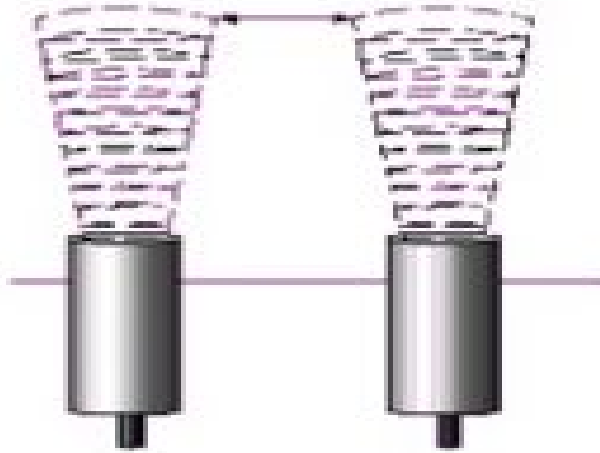
Figura 19.-Sensor de proximidad infrarrojo.

### 2.8.6 Ultrasónico.

Los sensores de ultrasonidos (Figura 20) son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite impulsos ultrasónicos. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

Este sensor al no necesitar el contacto físico con el objeto ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca, además detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección. Los sensores ultrasónicos tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección, con un alcance mínimo y máximo de precisión de 6 mm.

El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas. La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable.



**Figura 20.-Sensor Ultrasónico.**

### **2.8.7 Magnético.**

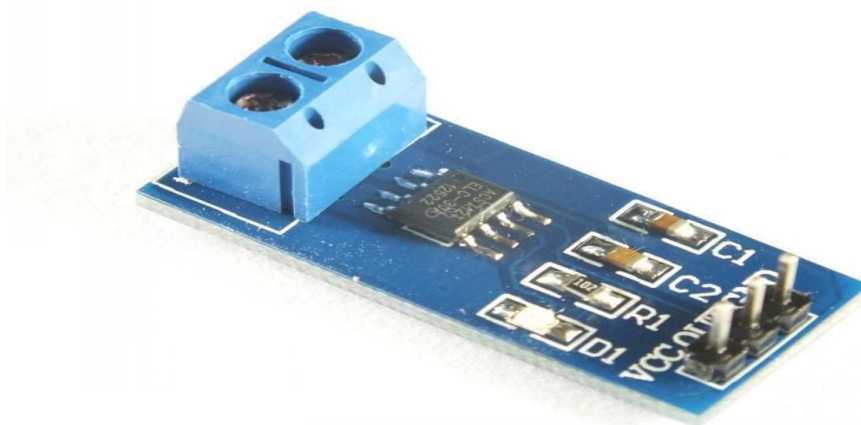
Los sensores de proximidad magnéticos (Figura 21) son caracterizados por la posibilidad de distancias grandes de la conmutación, disponible de los sensores con dimensiones pequeñas. Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Usando los conductores magnéticos (ej. hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias.



**Figura 21.- Sensor Magnético.**

### **2.8.8 Sensores de corriente.**

Los sensores de corriente (Figura 22) monitorizan corriente continua o alterna. Se incluyen sensores de corriente lineales ajustables, de balance nulo, digitales y lineales. Los sensores de corriente digitales pueden hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. La señal lineal duplica la forma de la onda de la corriente captada, y puede ser utilizada como un elemento de respuesta para controlar un motor o regular la cantidad de trabajo que realiza una máquina.



**Figura 22.- Sensor de Corriente.**

## 2.9 Tuberías o mangueras.

Una manguera es un tubo hueco flexible diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro.

Algunos usos de las mangueras incluyen los siguientes:

- a) En arquitectura, mangueras de plástico o metal son usadas para mover agua debajo de un edificio.
- b) En la química y en la medicina, las mangueras (o tubos) son usados para transportar productos químicos líquidos o gaseosos.
- c) En electricidad, una manguera es un cable formado por varios hilos aislados separadamente y recubiertos todos de una funda de material plástico flexible.
- d) Mangueras Hidráulicas para baja, mediana, alta y extrema presión. Estas pueden tener mallas metálicas trenzadas desde una hasta cuatro dependiendo de la presión requerida.

Una manguera de succión es un tubo flexible que está hecho especialmente para succionar agua u otros tipos de líquidos mediante una bomba. La manguera está reforzada con un cable helicoidal de acero continuo para evitar que la fuerza del vacío allane la forma tubular de la manga, obstruyendo la misma.

Una manguera (Figura 23) de succión se utiliza, para bombear aguas abiertas de lago, sonidos piscinas, por regar o para apagar un incendio o para vaciar aguas (limpias o sucias) de puestos subterráneos, por ejemplo: para limpiar alcantarillas o depósitos sucios.

Para prevenir que la suciedad entre en la bomba, normalmente tiene un filtro de succión en el extremo de la manguera de aspiración. Este filtro solo está formado por un cilindro con agujeros, pero también puede llevar una rejilla de tejido o fibra o bien una rejilla de acero.





**Figura 23.-Manguera Industrial.**

## **CAPITULO 3: Proceso de cálculo y selección de tuberías y válvulas adecuadas a la bomba**

Actualmente la central cuenta con bombas sumergibles adquiridas hace poco tiempo debido a los problemas presentados con las bombas que tenían derivado al mal funcionamiento que causaron la quema de ellas.

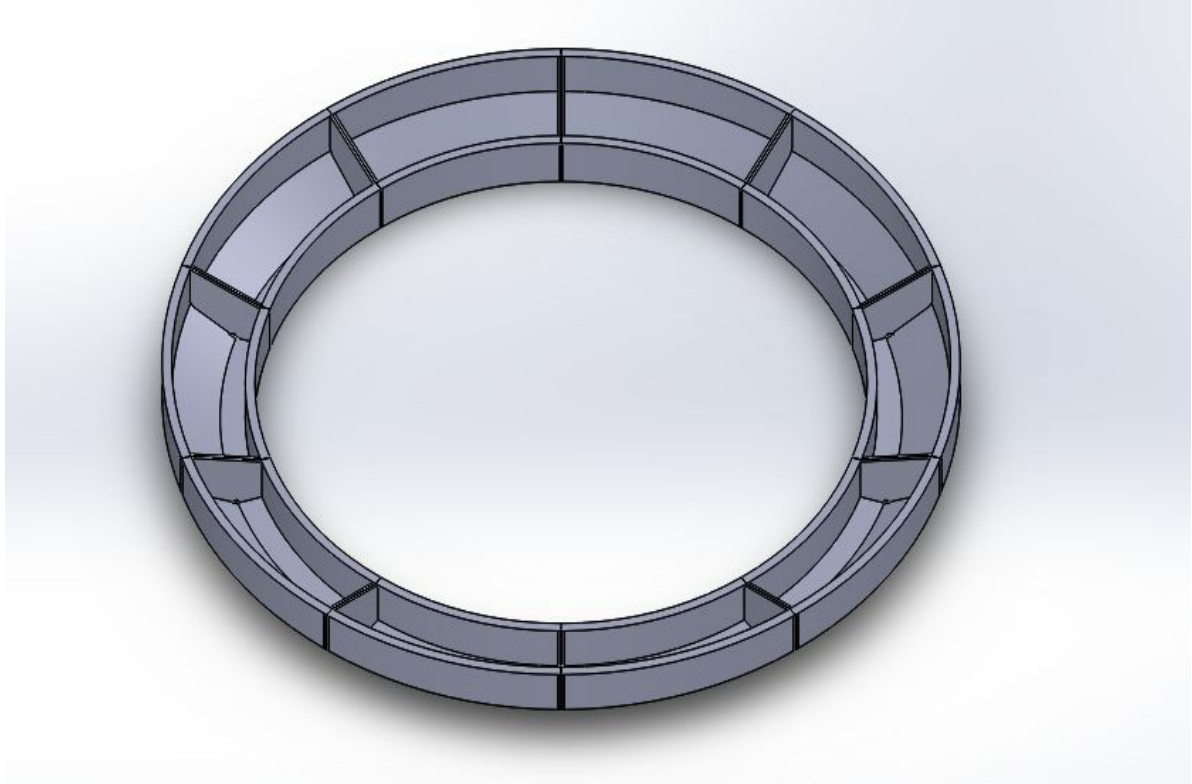
Para ello este estudio y solución presentada se llevara a cabo con este parámetro ya adquirido.

Para la selección adecuada y óptima de los accesorios se tiene:

- a) Investigación del espacio a desfogar.
- b) Calculo de caudal a extraer.
- c) Selección de tuberías de succión.
- d) Selección de sensor para el sistema de arranque y paro automático.

### **3.1 Investigación del espacio a desfogar.**

Las turbinas tipo Francis que operan en la central al momento de estar operando por naturaleza presentan excedencias que son alojadas en los cubiculos (Figura 24) y necesitan ser desalojadas del mismo para no presentar inundaciones o que este genere problemas a la turbina al momento de seguir operando pudiendo dañar algún componente.

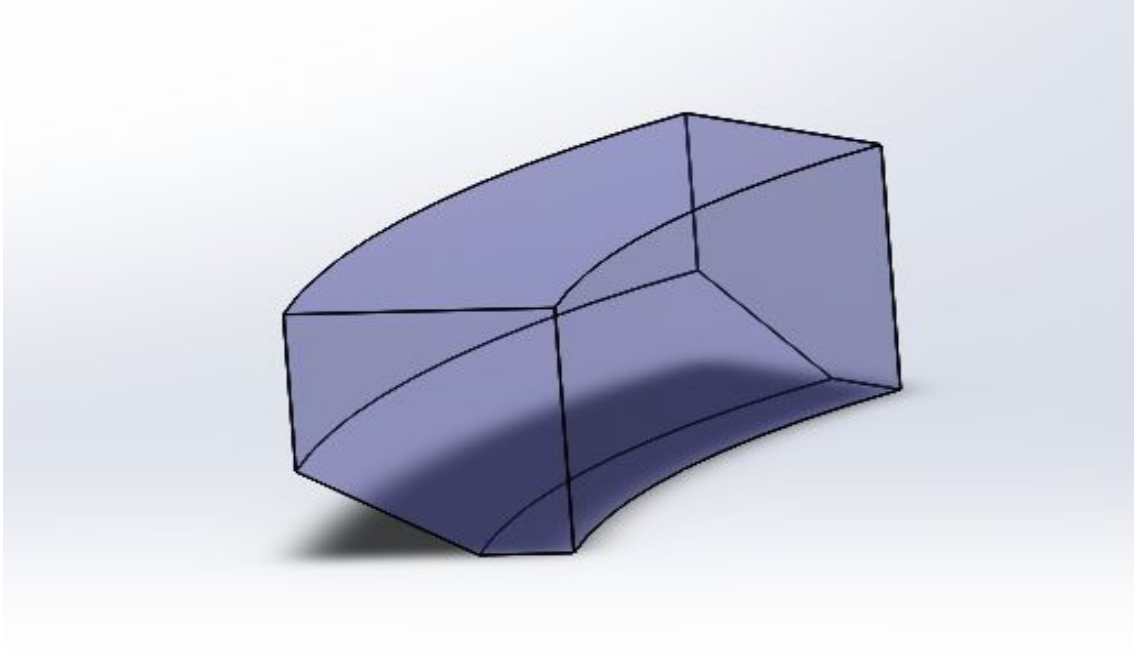


**Figura 24.-Vista de cubiculos del estopero de las Turbinas Tipo Francis (SolidWorks®).**

### **3.2 Cálculos del caudal de los cubiculos.**

Mediante planos obtenidos en la central se hizo un diseño de SolidWorks (Figura 25) para obtener el volumen de un cubículo del estopero, debido que esta información no se tiene en la central, del diseño se obtuvo como resultado.

$$\mathbf{V = 320210487.37 \text{ milímetros cúbicos.}}$$



**Figura 25.- Diseño del cálculo volumétrico del cubículo del estopero mediante (SolidWorks®).**

Obteniendo el resultado del cálculo volumétrico de un cubículo, tenemos que obtener el volumen total ocupado debido que la turbina está conformado por 10 cubículos:

$$V_{\text{total}} = 320210487.37 \text{ mm}^3 * 10 = 3202104873.7 \text{ mm}^3$$

Haciendo la conversión correspondiente, obtenemos los litros totales.

$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$V_{\text{total}} = 3.202104874 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 3202.1048737 \text{ Litros.}$$

Teniendo el volumen total, procedemos a obtener el caudal utilizando la Ec. (1) en un tiempo estimado de 15 minutos, que convirtiendo estos a segundos serían 900 segundos.

$$Q = \frac{3.202104874 \text{ m}^3}{900 \text{ seg.}} = 3.55789 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

El caudal obtenido será el mismo para las 5 turbinas que cuenta la central, por lo consiguiente este estudio será el mismo para las demás turbinas.

### 3.3 Pérdidas de tuberías.

Las pérdidas por fricción se desarrollan a través de lo largo de cada cubículo, en donde utilizando valores de caudal, longitud, velocidad, diámetro, obtendremos cada una de las pérdidas para cada sección.

Utilizando la ecuación (5) de Darcy obtenemos:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

### 3.3.1 Perdidas de tuberías en la succión.

Los siguientes valores serán constantes a lo largo de todos los cálculos a realizar a continuación, los diámetros ya fueron obtenidos manualmente (3/4 de pulgadas) y simplemente serán plasmados en las ecuaciones correspondientes.

Diámetro = **0.01905 m.**

Viscosidad cinemática a 25° es  $\nu = \mathbf{0.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}}$

La velocidad la obtendremos despejando “V” de la ecuación (2):

$$V = \frac{3.55789 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{\left(\frac{\pi}{4} * 0.01905^2 \text{ m}\right)} = \mathbf{12.4828 \text{ m}/\text{seg}}$$

Rugosidad absoluta del plástico (manguera) que es el que se utilizara en los cubículos del estopero para el desfogue, es de  $\epsilon = \mathbf{0.0015 \text{ mm}}$

$$Re = \frac{12.4828 \text{ m}/\text{seg} * 0.01905 \text{ m}}{.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}} = \mathbf{266.2904 E^3}$$

$f$ , es obtenida con el  $Re$  y  $\frac{\epsilon}{D}$ , teniendo estos valores recurrimos al diagrama de Moody obteniendo el coeficiente de fricción  $f = \mathbf{0.0168}$

De la ecuación (5) obtenemos las pérdidas por fricción:

$$h_{L1} = 0.0168 * \frac{1.5 \text{ m}}{0.01905 \text{ m}} * \frac{(12.4828)^2 \text{ m}/\text{seg}}{2(9.81)} = \mathbf{10.5058 \text{ m}}$$

$$h_{L2} = 0.0168 * \frac{3 \text{ m}}{0.01905 \text{ m}} * \frac{(12.4828)^2 \text{ m}/\text{seg}}{2(9.81)} = \mathbf{21.0116 \text{ m}}$$

La pérdida total por succión será la suma de  $h_{L1} + h_{L2}$ :

$$\mathbf{h_{succtotal} = 10.5058 + 21.0116 = 31.5174 \text{ m.}}$$

### 3.3.2 Pérdidas de tuberías en la descarga.

Para la sección de la bomba hacia el desfogue se cuenta con una manguera de 30 metros de longitud con un diámetro de 2 pulgadas (0.0508 metros), se obtendrá la pérdida por fricción.

La rugosidad absoluta será la misma dado que es del mismo material (manguera), por lo tanto es de  $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$

La velocidad la obtendremos despejando "V" de la ecuación (2):

$$V_2 = \frac{3.55789 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{\left(\frac{\pi}{4} * 0.0508^2 \text{ m}^2\right)} = 1.7553 \text{ m}/\text{seg}$$

Para obtener el número de Reynolds:

$$Re = \frac{1.7553 \text{ m}/\text{seg} * 0.0508 \text{ m}}{.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}} = 99.8535E^3$$

Para obtener el coeficiente de fricción recurrimos al Diagrama de Moody, conociendo el Re y  $\frac{\varepsilon}{D}$ , obtenemos que el coeficiente de fricción es de  $f = 0.0108$

De la ecuación (5) obtendremos las pérdidas por fricción:

$$h_{L3} = 0.0108 * \frac{30 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} * \frac{(1.7553)^2 \text{ m}^2/\text{seg}^2}{2(9.81)} = 1.0015 \text{ m}$$

$$h_{\text{destotal}} = 1.0015 \text{ m}$$

Obteniendo las pérdidas de carga total por tuberías se sumaran  $h_{\text{succtotal}} + h_{\text{destotal}}$ :

$$h_{\text{LTOTAL}} = 31.5174 + 1.0015 = 32.5189 \text{ m.}$$

### 3.4 Calculo de pérdidas de presión secundaria.

Para la conexión de las mangueras se utilizo de accesorios 2 codos de 90° en cada bomba, cada turbina cuenta con 2 bombas para el desfogue de las excedencias del estopero.

**Tabla 6.- Tabla de perdidas por accesorios.**

Accesorios	Valor de Cte. K	Total
4 codos de 90°	0.75	3
	$\Sigma k$	3

Usando la ecuación (6) para obtener la perdida por accesorios obtenemos:

$$h_a = 3 \frac{(12.4828)^2 m/seg}{2(9.81)} = 23.8257 m$$

Total de pérdidas por accesorios

$$h_{atotal} = 23.8257 m$$

### 3.5 Perdidas de carga total.

Las pérdidas de carga total se obtienen mediante la ecuación (7):

$$h_{Ttotal} = 32.5189 m + 23.8257 m = 56.3446 m$$



### 3.6 Calculo de potencia del sistema.

Utilizando la ecuación de la energía comprobaremos que la bomba con la que cuenta la central es apta para el diseño establecido

$$H_p + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = H_T + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_L$$

Donde

$H_p$  = Carga de Bomba

$H_T$  = Carga de Turbina

$P$  = Presión

$V$  = Velocidad

$\rho$  = Densidad del fluido

$Z$  = Altura

$H_L$  = Perdidas

Teniendo en cuenta que los cubiculos y galerías de drenaje de casa de maquinas están abiertos a la atmósfera, se consideran las presiones como sigue:

$$P_1 = P_2 = P_{atm} = 0 \text{ (Manométrica)}$$

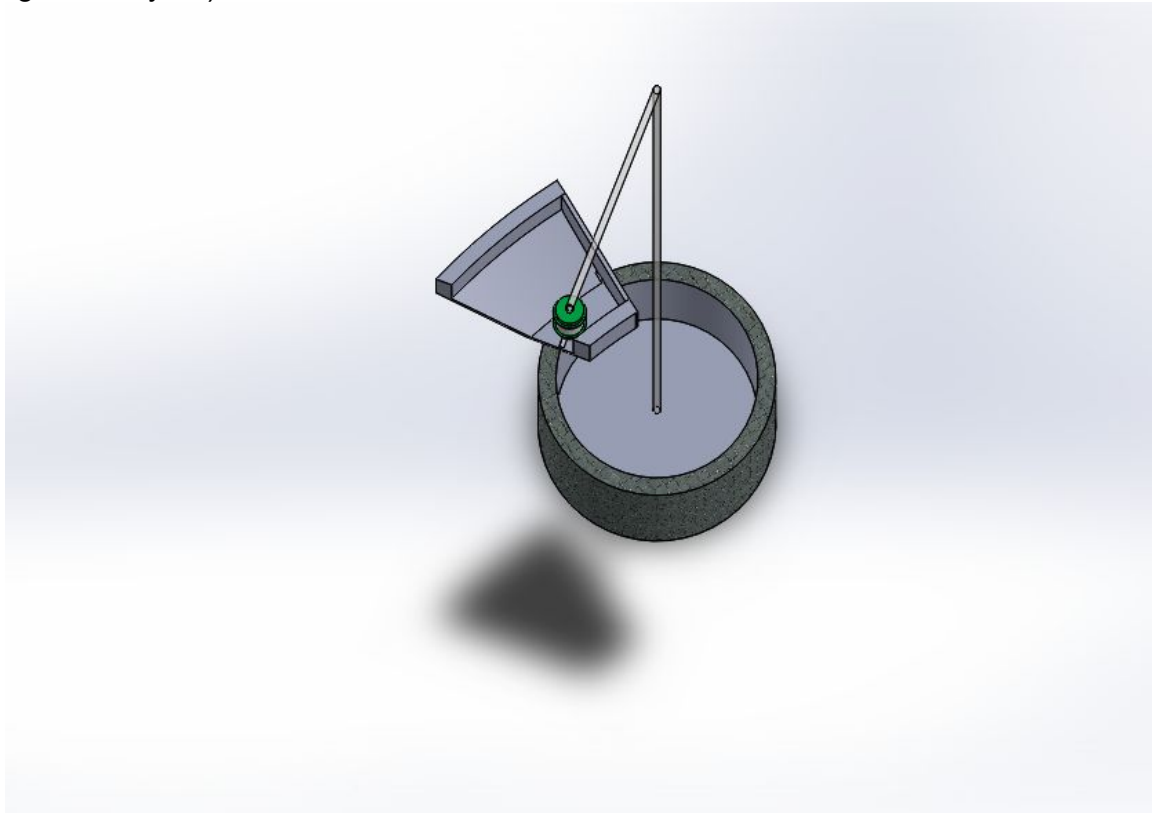
$Z_1$  será considerado como el punto de referencia por lo cual será  $Z_1 = 0$

Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$H_p = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_L - \frac{V_1^2}{2g}$$

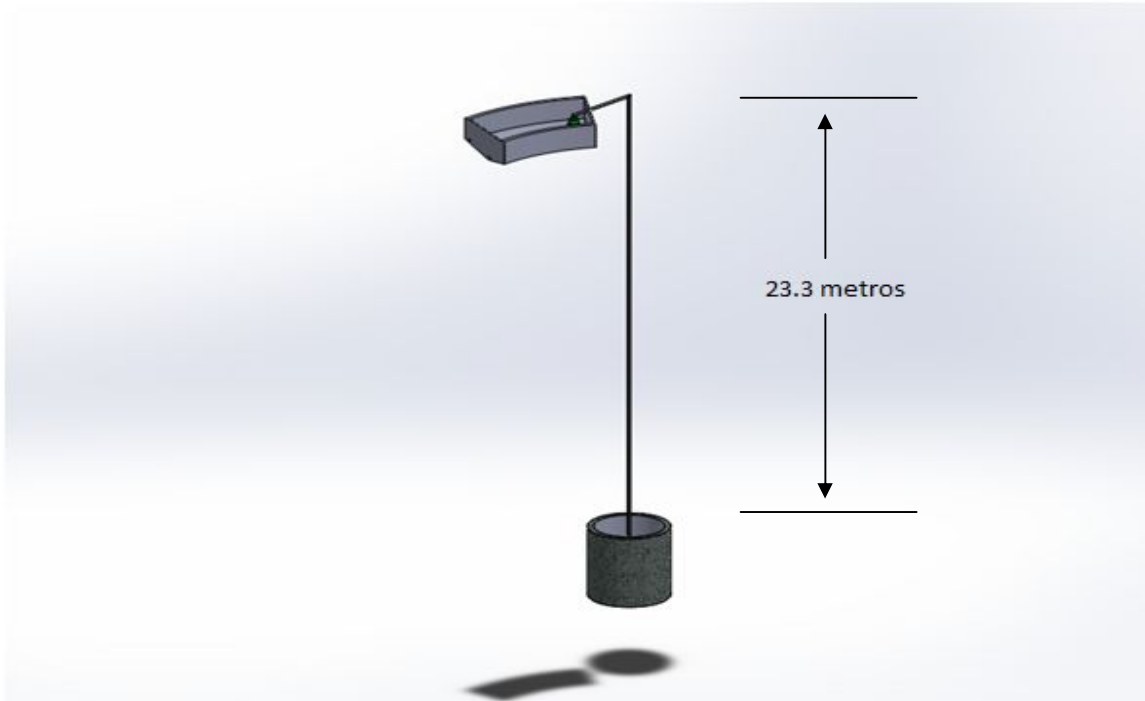
Teniendo en cuenta que piso de turbina se encuentra a 420.30 m.s.n.m y

galería de drenaje donde el fluido es desfogado a una altura de 397 m.s.n.m (Ver figuras 26 y 27).



**Figura 26.- Vista isométrica del diseño del sistema de desfogue (SolidWorks®).**

$$Z_2 = -23.3 \text{ m. s. n. m}$$



**Figura 27.-Vista del diseño del sistema de desfogue (SolidWorks®).**

Las pérdidas totales ya fueron obtenidas con anterioridad teniendo:

$$H_L = 56.3446 \text{ m}$$

Por lo tanto

$$H_p = \frac{1.7553^2}{2(9.81)} - 23.3\text{m} + 56.3446\text{m} - \frac{12.4828^2}{2(9.81)}$$

$$\mathbf{H_p = 25.2597 \text{ metros}}$$

Obteniendo la potencia usaremos la ecuación:

$$W_p = Q * \rho g * H_p * \eta$$

Como la central opera con 2 bombas dividiremos el caudal entre 2, para ver cuanta potencia se necesitara y nos daremos cuenta si las bombas tienen la suficiente potencia para operar en la central.

$$Wp = 1.778945 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * .54 * 25.2597 \text{ m}$$

$$Wp = 238.0419 \text{ watts}$$

**Tabla 7.- Comparativa de resultados.**

<b>Bomba con la que opera la central (2 bombas de ½ Hp cada una)</b>	<b>Potencia requerida</b>
<b>½ Hp = 372.85 Watts</b>	<b>238.0419 Watts</b>

### **3.7 Sistema de arranque y paro automático.**

Respecto a la selección del sistema de arranque y paro automático se recomienda el uso de un sensor ultrasónico, la medición de nivel por ultrasonido es una tecnología ideal para una amplia gama de aplicaciones de líquidos, incluyendo productos químicos, petróleo, agua y aguas residuales.

Investigando se recomienda un proveedor “Nikron” que maneja sensores ultrasónicos. El sensor ultrasónico opera de tal modo que emite cuatro pulsos de sonido de alta frecuencia por segundo, cada pulso se desplaza por el espacio de aire, refleja en la superficie del líquido y vuelve al transductor. Realizando compensación de temperatura la electrónica calcula el intervalo de tiempo de la transmisión y retorno de la señal, traduciendo en una distancia de medición basada en la velocidad del sonido, en el anexo (6) se agrega el catálogo de sensores ultrasónicos.

La tecnología sin contacto de nivel ultrasónico se desempeña muy bien en ambientes agresivos, requiere poco o ningún mantenimiento y proporciona una mayor fiabilidad y exactitud que otros dispositivos que funcionan en contacto con el líquido.

La política de CFE para adquirir productos es basada en concursos para lo cual llevar a cabo este sistema de arranque y paro automático depende únicamente de la empresa, la puesta en marcha de este producto dependerá del proveedor..

## **CAPITULO 4: Conclusiones Y Recomendaciones**

En cuanto a la obtención de resultados se obtuvieron a partir del cálculo del volumen que es necesario desfogar mediante un software CAD (SolidWorks®), con el cual se logró obtener el caudal y el cálculo de pérdida de carga estática por el método de Darcy – Weisbach.

En base a los resultados obtenidos se determina que las bombas con las que cuenta la central para la implementación de éste proyecto, son de la capacidad requerida para el achique de los cubículos del estopero de las turbinas instaladas en dicha central. Lo anterior garantiza salvaguardar la integridad tanto del personal como de los equipos adicionales instalados en el sitio, aún en situaciones de contingencia.

En lo que respecta a la selección del sistema de arranque y paro automático, se da una sugerencia, dado que ese aspecto es facultad de la empresa, tanto para la adquisición, instalación y operación.

## ANEXOS

### ANEXO (1) Tabla de rugosidad absoluta de materiales

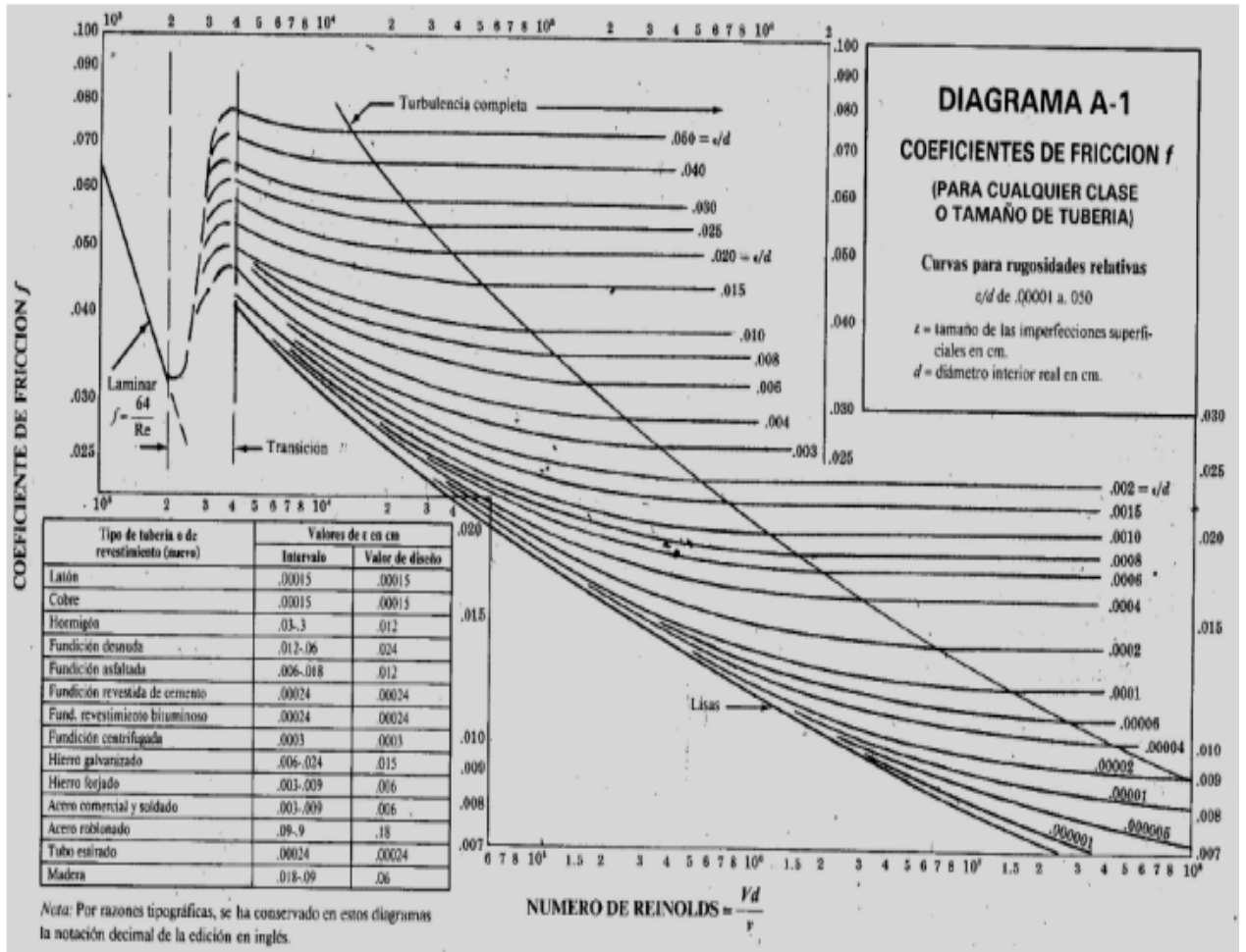
RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

## ANEXO (2) Propiedades físicas del agua

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33



**ANEXO (3) Diagrama de Moody**



## ANEXO (4) Valores de coeficiente K en pérdidas singulares

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

**ANEXO (5) Especificaciones de la bomba sumergible que opera en la C.H. Belisario Domínguez**

**Goulds Water Technology**

**Wastewater**

**MODELS**

Order Number	HP	Phase	Volts	RPM	Impeller Diameter (in.)	Maximum Amps	Locked Rotor Amps	KVA Code	Full Load Efficiency %	Resistance		Power Cable Size	Weight (lbs.)	
										Start	Line-Line			
WE0311L	0.33	1	115	1750	5.38	10.7	30.0	M	54	11.9	1.7	16/3	56	
WE0318L			208			6.8	19.5	K	51	9.1	4.2			
WE0312L			230			4.9	14.1	L	53	14.5	8.0			
WE0311M			115			10.7	30.0	M	54	11.9	1.7			
WE0318M			208			6.8	19.5	K	51	9.1	4.2			
WE0312M			230			4.9	14.1	L	53	14.5	8.0			
WE0511H	0.5	1	115	1750	3.56	14.5	46.0	M	54	7.5	1.0	14/3	60	
WE0518H			208			8.1	31.0	K	68	9.7	2.4	16/3	60	
WE0512H			230			7.3	34.5	M	53	9.6	4.0	14/3	60	
WE0538H		3	200			4.9	22.6	R	68	NA	3.8	14/4	60	
WE0532H			230			3.3	18.8	R	70	NA	5.8			
WE0534H			460			1.7	9.4	R	70	NA	23.2			
WE0537H		575	1.4			7.5	R	62	NA	35.3	14/3	60		
WE0511HH		1	115			14.5	46.0	M	54	7.5	1.0	14/3	60	
WE0518HH			208			8.1	31.0	K	68	9.7	2.4	16/3	60	
WE0512HH			230			7.3	34.5	M	53	9.6	4.0	14/3	60	
WE0538HH			3			200	4.9	22.6	R	68	NA	3.8	14/4	60
WE0532HH						230	3.6	18.8	R	70	NA	5.8		
WE0534HH	460			1.8	9.4	R	70	NA	23.2					
WE0537HH	575	1.5	7.5	R	62	NA	35.3	14/3	60					
WE0718H	0.75	1	208	1750	4.06	11.0	31.0	K	68	9.7	2.4	14/3	70	
WE0712H			230			10.0	27.5	J	65	12.2	2.7	14/3	70	
WE0738H		3	200			6.2	20.6	L	64	NA	5.7	14/4	70	
WE0732H			230			5.4	15.7	K	68	NA	8.6			
WE0734H			460			2.7	7.9	K	68	NA	34.2			
WE0737H			575			2.2	9.9	L	78	NA	26.5			
WE1018H	1	1	208	3450	4.44	14.0	59.0	K	68	9.3	1.1	14/3	70	
WE1012H			230			12.5	36.2	J	69	10.3	2.1	14/3	70	
WE1038H		3	200			8.1	37.6	M	77	NA	2.7	14/4	70	
WE1032H			230			7.0	24.1	L	79	NA	4.1			
WE1024H			460			3.5	12.1	I	79	NA	14.2			
WE1024H			460			3.5	12.1	I	79	NA	14.2			

## ANEXO (6) Catalogo de sensores ultrasónicos proveedor nikon

### MEDICION DE NIVEL

#### SENSORES ULTRASONICOS

##### FLOWLINE®

##### ECHO SPAN Transmisor Ultrasónico

Para aplicaciones generales en tanques a presión atmosférica, líquidos en gral, corrosivos y aguas residuales.

Rangos: desde 20 cm hasta 10 m  
Display: LCD de 6 dígitos  
Salida: 4-20 mA  
Material: PVDF, Policarbonato / ABS  
Conexión: 2" NPT Temp.: -20 a 60°C  
Alimentación: 12 - 28 VCC  
Exactitud:  $\pm 0,2\%$  Resolución: 1 mm / 2 mm  
Protección: NEMA 4X / IP 65



##### ECHO TOUCH Transmisor Ultrasónico

Transmisor de 3 hilos, puede ser configurado como alarma de un solo punto o de dos puntos para llenado y vaciado automático de tanques.

Rangos: desde 15 cm hasta 7 m  
Display: LED de 4 dígitos  
Salida: 4-20 mA, 3 hilos,  
1 contacto de alarma SPDT 250 VCA 10A  
Material: PVDF, PP  
Conexión: 2" NPT Temp.: -4 a 60°C  
Alimentación: 14 - 36 VCC  
Exactitud:  $\pm 0,25\%$  Resolución: 3 mm  
Protección: NEMA 4X / IP 65



##### ECHO SAFE Transmisor Ultrasónico Ex

Con aprobación FM para montaje en zona Ex

Rangos: desde 20 cm hasta 10 m  
Display: LCD de 6 dígitos  
Salida: 4-20 mA  
Material: PVDF, Carcaza de Aluminio  
Conexión: 2" NPT  
Presión máx: 2 bar Temp.: -20 a 60°C  
Alimentación: 18 - 28 VCC  
Exactitud:  $\pm 0,2\%$  Resolución: 2 mm  
Protección: NEMA 4X / IP 65  
Aprobación: FM Clase 1 Div 1; Grupos A, B, C, D  
Clases 2 / 3, Div 1; Grupos E, F, G



## BIBLIOGRAFÍA

Igor, K. (1989). *Bombas Centrifugas*. México: CECSA.

Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Pearson.

Tyler, H. (1976). *Bombas, seleccion y aplicacion*. México: Continental.

Introducción a la tecnología de la C.H Belisario Domínguez, la Angostura 2003.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_sumergible](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sumergible)

<http://www.sideb.com.mx/pagina/bombas-para-agua-sumergibles/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Manguera>