



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TUXTLA GUTIÉRREZ**



Comisión Federal de Electricidad

Central Hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres

**Residencia profesional
Departamento mecánico**

Nombre del Proyecto:

**“DISEÑAR CUÑAS EN LAS GUÍAS PARA POSICIONAR
HERMÉTICAMENTE LAS COMPUERTAS DE DESFOGUE EN
UNIDADES DE LA 1ª ETAPA”**

PRESENTADO POR:
Carlos Iván Reyes Pinto

Carrera:
Ing. Mecánica

Asesor Interno:
Ing. Rutilo Morales Álvarez

Asesor Externo:
Ing. Néstor Joaquín Cruz

Tuxtla Gutiérrez Chiapas, 14/JUNIO/13

TABLA DE CONTENIDO	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y DIAGRAMAS.....	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	6
PROLOGO.....	7
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVOS GENERALES.....	9
OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
JUSTIFICACION.....	10
INTRODUCCIÓN	11
ALCANCES Y LIMITACIONES	12
ALCANCES	12
LIMITACIONES.....	12
GENERALIDADES	13
ANTECEDENTES DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.....	14
CROQUIS DE LOCALIZACION.....	16
UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	16
ORIENTACIÓN DE LA HIDROELÉCTRICA.	17
DATOS TECNICOS.....	20
DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	23
CONCEPTOS GENERALES SOBRE CENTRALES ELÉCTRICAS	23
TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS	24
CENTRALES DE BASE:	24
CENTRALES DE PUNTAS:	24
CENTRALES DE RESERVA:.....	24
CENTRALES DE SOCORRO:	25
CENTRALES DE ACUMULACIÓN O DE BOMBEO:	25
CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	26
CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	27
CENTRALES DE ALTA PRESIÓN.....	27
CENTRALES DE MEDIA PRESIÓN.	27
CENTRALES DE BAJA PRESIÓN.....	28

LAS CENTRALES DE AGUA CORRIENTE	28
CENTRALES DE AGUA EMBALSADA	29
DISPOSICIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	29
FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	36
COMPUERTAS	36
COMPONENTES DE UNA COMPUERTA	36
APLICACIONES PRINCIPALES	38
COMPUERTAS SEGÚN SU TIPO Y CLASIFICACION	38
COMPUERTAS PLANAS DE RODILLOS	38
COMPUERTAS RADIALES (TAINTOR)	39
COMPUERTAS FLAP O CLAPETAS.....	40
COMPUERTAS ATAGUÍA	40
COMPUERTAS MARIPOSA.....	40
COMPUERTAS CATERPILLAR (TRACTOR)	41
COMPUERTAS CILÍNDRICAS	42
COMPUERTAS PLANAS DESLIZANTES.....	42
CLASIFICACION.....	43
SEGÚN EL TIPO DE OPERACIÓN O FUNCIONAMIENTO:.....	43
DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:	43
SEGÚN EL MECANISMO DE IZADO:	44
MECANISMOS COMPLEMENTARIOS	44
MATERIALES DE FABRICACION.....	45
RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	45
TIPO DE MONTAJES.....	45
TIPOS DE ACCIONAMIENTOS	45
ACCIONAMIENTO POR MOTORREDUCTOR.....	46
ACCIONAMIENTO POR SERVOMOTOR.....	47
ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO	47
SELLOS PARA COMPUERTAS.....	47
PROPIEDADES FÍSICAS	48
CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES	49
AUSTENÍTICOS.....	49



FERRÍTICOS.....	49
MARTENSÍTICOS.....	49
CORROSIÓN	50
CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES SEGÚN NORMA AISI	51
TIPOS DE APLICACIÓN DE LAS DIVERSAS CALIDADES DE ACERO INOXIDABLE	53
AUSTENITICOS SERIE 200:	53
AUSTENITICOS SERIE 300:	54
UNIONES ACUÑADAS.....	57
FINALIDAD DE LAS UNIONES ACUÑADAS	57
TIPOS DE CUÑAS	57
CUÑAS ENCASTRADAS.....	57
CUÑAS TANGENCIALES.....	58
CUÑAS TRANSVERSALES.....	59
CUÑAS DE AJUSTE.....	59
SUPERFICIES EN LAS CUÑAS	60
ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	62
ASPECTOS PRELIMINARES	62
COMPONENTES DE DISEÑO.....	64
MEMORIA DE CÁLCULO.....	65
CONCLUSIÓN.....	75
ANEXOS.....	76
FUENTES DE INFORMACIÓN	83



Índice de Ilustraciones y Diagramas



Tipo de ilustración	No.	Descripción	Página
Mapa	1	Macro localización de la C.H. Manuel Moreno Torres	14
Mapa	2	Micro localización de la C.H. Manuel Moreno Torres	14
Figura	3	Vista panorámica de la presa Chicoasen	15
Tabla	1	Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica de las unidades de la primera etapa.	17
Tabla	2	Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica de las unidades de la segunda etapa.	18
Figura	4	Representación de una central de agua corriente	25
Figura	5	Representación de una central de agua embalsada	26
Figura	6	Central hidroeléctrica con canal de derivación	27
Figura	7	Central hidroeléctrica con galería de presión, chimenea de equilibrio, tubería de presión y canal de desagüe.	28
Figura	8	Perfil longitudinal del aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Grijalva.	30
Figura	9	Compuerta del tipo deslizante	34
Figura	10	Compuerta de tipo radial.	36
Figura	11	Compuerta del tipo plana deslizante	39
Figura	12	Sellos para compuertas, tipo nota musical	45
Diagrama	1	Aceros Inoxidables serie 200	48
Diagrama	2	Composición Química de los Aceros Inoxidables	50
Figura	13	Cuñas encastradas	55
Figura	14	Cuña cóncava y cuña plana	55
Figura	15	Cuñas tangenciales	56
Figura	16	Cuñas transversales	57
Figura	17	Cuña de ajuste	57
Figura	18	Superficies en las cuñas	57
Plano	1	Vista de la sección transversal de la compuerta deslizante	59

Figura	19	Sección de análisis	60
Figura	20	Sección Transversal de la unión acuñada	61
Figura	21	Ensamble Compuerta-Cuñas	62
Figura	22	Representación de la placa donde descansa la compuerta	63
Tabla	3	Tabla indicativa de los esfuerzos a los que es sometida la placa.	63
Figura	23	Sección transversal del diseño	73
Figura	24	Vista del modelo de la compuerta de desfogue	74
Figura	25	Isométrico de los apoyos de la compuerta deslizante	75
Figura	26	Compuerta deslizante de desfogue	82
Figura	27	Grúa de izaje y guía pescadora	83
Figura	28	Maniobra de izaje de la compuerta lisa deslizante de desfogue.	84

Índice de Ecuaciones

	No.	Descripción	Página
Ecuación	1	Teoría del esfuerzo cortante máximo	63
Ecuación	2	Ecuación de los esfuerzos principales.	64
Ecuación	3	Teoría de la energía de distorsión	68
Ecuación	4	Esfuerzo de Von Mises	68
Ecuación	5	Momento de inercia	70
Ecuación	6	Modulo de resistencia	70
Ecuación	7	Carga en la pieza fija	70
Ecuación	8	Columna de agua máxima	70
Ecuación	9	Presión en el concreto	71
Ecuación	10	Ancho efectivo en compresión	71
Ecuación	11	Angulo de apertura de disipación de la presión	71
Ecuación	12	Modulo de elasticidad del concreto	71
Ecuación	13	Momento flector	72
Ecuación	14	Fuerza cortante	72

PROLOGO

Hoy en día que el mundo vive una gran crisis energética, debida al aumento del precio del petróleo y de los combustibles nucleares, aunado a los problemas de contaminación a que su uso conduce, el mundo da todavía mayor importancia a los recursos hidroenergéticos, que aunque escasos en muchos países son recursos renovables en nuestro planeta, factor que no se aplica ni al petróleo, carbón o combustibles nucleares.

El agua, además de sus otras características que lo hacen un fluido vital, tiene la de poder accionar máquinas giratorias llamadas turbinas, que a su vez mueven generadores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, la más usada de las formas de energía.

La mayoría de los países requieren el doble de energía en períodos cortos de 6 a 10 años, y requerirán cada vez mayores cantidades.

Es por eso la importancia que tienen actualmente las centrales hidroeléctricas y el por qué de mi interés en este tipo de transformación de la energía.

CAPITULO I

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Implementar el diseño de cuñas para las guías de las compuertas de desfogeo de las unidades de la primera etapa.
- Obtener total hermetismo en compuertas, de esta manera reducir los trabajos de calafateo, evitando tiempos muertos en las máquinas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener un cierre asistido mediante un sistema de cuñas que proporcionen mayor estanqueidad y depuración.
- Mejorar las propiedades de sujeción del sistema de compuertas de las cinco unidades que conforman la primera etapa.
- Hacer énfasis en el análisis minucioso de las causas generales que afectan el buen desempeño de las compuertas de desfogeo y establecer alternativas de solución.

JUSTIFICACION

El factor de hermeticidad es uno de los aspectos más importantes a considerar cuando hablamos de sistemas que manejan alguna especie de fluido, en estado líquido o gaseoso según sea el caso. Por definición el término hermeticidad o estanqueidad generaliza la idea de mantener un sistema cerrado, es decir, evitar la entrada o salida de un fluido. Esto generalmente mediante componentes de material adaptable que sirven para sellar la unión de las caras mecanizadas de los elementos de cierre de piezas que llevan fluidos en su interior o retienen dichos fluidos, el objetivo es evitar que haya fuga de los mismos hacia el exterior por algún pequeño defecto en el mecanizado y de las zonas de cierre u otros mecanismo que tengan presión interna.

Estos factores son de vital importancia para cuando por cuestiones de seguridad o bien por el funcionamiento adecuado de algún elemento mecánico sea necesario mantener el control de flujo de fluidos, de este punto de partida nace la necesidad de plantear soluciones para el caso particular de la central hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres (chicoasen) con respecto a las compuertas de desfogue de esta central, debido a que para realizar trabajos de mantenimiento es necesaria la intervención de una brigada de buceo por presentarse fugas en estos mecanismos de cierre, con esto aplazando las tareas de mantenimiento que repercuten directamente en la productividad de la planta, con este inconveniente se justifica la necesidad de idear o implementar un sistema que colabore con el hermetismo en su totalidad de estos mecanismos de cierre, el cual es rigurosamente necesario.

INTRODUCCIÓN

Por compuerta, se entiende todo dispositivo capaz de detener, dejar libre paso, o regular las masas de agua que llegan a una abertura, sumergida o no, o que circulan por una conducción abierta o cerrada.

En la actualidad las compuertas hidráulicas se utilizan para la regulación de gastos, como emergencia y cierre para mantenimiento. Se construyen de manera que el miembro de cierre quede por completo fuera del conducto cuando la compuerta está totalmente abierta. Las compuertas hidráulicas se diseñan de diferentes tipos, con peculiaridades en su operación y en sus miembros de cierre.

El cálculo y diseño de las compuertas, ha de responder a una serie de exigencias mecánicas e hidráulicas, para que en las mismas no se produzcan vibraciones, sea cual sea la apertura y la presión soportada, incluidos los valores extremos a que pueden estar sometidas. Dichos parámetros de análisis comprenden el factor de hermetismo o estanqueidad de estos elementos, como objeto de estudio se consideran las fallas en los elementos de sellado que complementan a las compuertas en la galería de oscilación de la de la presa chicoasen.

El proyecto que se presentara a continuación tiene como finalidad presentar una alternativa de solución para mantener una mejor estanqueidad en el sistema de desfogues de la central hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres misma que tiene una ubicación geográfica localizada para el aprovechamiento de las aguas del rio Grijalva

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

El siguiente proyecto de residencia profesional que a continuación se presenta es aplicable para las cinco unidades que constituyen la primera etapa de la C.H. MANUEL MORENO TORRES, con la finalidad de presentar alternativas de solución a los inconvenientes por fugas que se tienen en la galería de oscilación, con el cierre de las compuertas de desfogue.

LIMITACIONES

El desarrollo del proyecto es considerando únicamente para las unidades generadoras de la primera etapa, es importante hacer mención que las características son muy similares a las unidades de la segunda etapa (ampliación) de esta central, pero para efectos de análisis solo se tomaron en cuenta las primeras cinco.

Una de las principales limitantes que se presentan es el difícil acceso para recabar la información en campo, debido a que las condiciones de trabajo son bajo el agua, fue de vital importancia el apoyo de la brigada de buceo.

GENERALIDADES

Nombre de la empresa:
Comisión Federal de Electricidad

Sede:
Central Hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres

Industria:
Energética

Logotipo Oficial:



Periodo: Enero-Junio del 2013

ANTECEDENTES DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

La electrificación en México comenzó en 1879, cuando la fábrica denominada la Americana, asentada en León, Guanajuato, dedicada a la elaboración de los textiles, entre otras actividades, instaló un generador para producir electricidad.

La primera ciudad que contó con servicio público de energía eléctrica fue León, Guanajuato. En la actualidad, prácticamente no existe área urbana sin electrificar y cada día son menos las comunidades rurales que no cuentan con este servicio.

Cuando el siglo XX apenas asomaba su rostro ya operaban diferentes compañías eléctricas, con razones sociales en español pero con capital extranjero.

El Presidente Álvaro Obregón creó en 1923 la Comisión para el Fomento y Control de la Industria de Generación de Fuerza, con el objetivo de ejercer un control satisfactorio de la industria. En principio, se pusieron en práctica acciones para restringir las ganancias excesivas y las actividades monopólicas.

El primer reglamento formal del sector eléctrico se promulgó el 30 de abril de 1926, llamado Código Nacional Eléctrico, este documento era el instrumento legal que permitió al gobierno controlar las concesiones, regular las técnicas de operación y supervisar tanto la generación como la distribución. Además se reformó el artículo 73 de la Constitución para otorgar al Congreso Federal la facultad de legislar en materia de electricidad, declarar de utilidad pública a la industria eléctrica, proceder a la regulación de las tarifas y obligar a las empresas generadoras a firmar contratos de suministro con los consumidores.

En 1933 se envió la iniciativa de ley para constituir la CFE, que cuatro años más tarde inició sus funciones. El 14 de agosto de 1937 entró en vigor y se le asignó la misión de generar y distribuir energía eléctrica con una visión nacional. El nacimiento de la CFE respondió a la política de cambio estructural impulsado por el Presidente Lázaro Cárdenas.

En este sentido, el sector energético (petróleo y electricidad) junto con el fomento de la banca de desarrollo fueron instrumentos utilizados para apoyar el programa de industrialización nacional.

El Presidente Adolfo López Mateos realizó la nacionalización de la industria eléctrica el 27 de septiembre de 1960. El Congreso adicionó el artículo 27 constitucional para disponer lo siguiente: "Corresponde exclusivamente a la nación generar, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público.

En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que requiere para dichos fines".

La CFE es una empresa pública descentralizada del Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos con casi 70 años de experiencia en la operación, control, desarrollo y construcción de la infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional.

CROQUIS DE LOCALIZACION CENTRAL HIDROELÉCTRICA ING. MANUEL MORENO TORRES

16

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Chicoasén se encuentra en la zona central del estado de Chiapas, sus coordenadas geográficas son: $16^{\circ}56'31''\text{N } 93^{\circ}06'03''\text{O}$. Limita al norte con el municipio de Coapilla, al sur con San Fernando, Soyaló y Osumacinta, al este con Bochil y al oeste con Copainalá.

Su extensión territorial es de 82 km².



Fig. 1. Ubicación de la región donde se realizó el estudio
Fuente: Google Earth

ORIENTACIÓN DE LA HIDROELÉCTRICA.

Carretera Tuxtla-Chicoasen Km. 40, Chicoasen, Chiapas.

CP: 29640

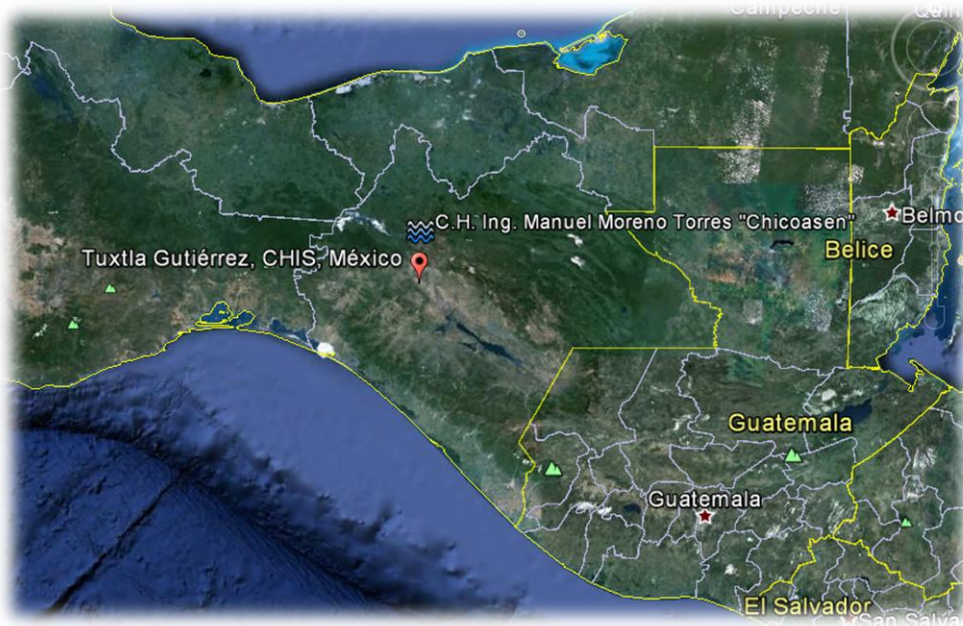


Fig. 2. Localización de la C.H. Ing. Manuel Moreno Torres

Fuente: Google Earth



Fig 3. Imagen panorámica de la presa Chicoasen

Fuente: <http://www.fundacion-ica.org.mx>

Ubicación: Se encuentra en el estado de Chiapas, embalsa las aguas del Río Grijalva a la salida del Cañón del Sumidero.

18

Fecha de inicio de la obra: 1974.

Fecha de terminación de la obra: 1980.

Magnitud de la obra: La presa tiene una capacidad de almacenamiento de 1,705 millones de m³ de agua y una capacidad instalada de 2,400 MW

Cliente: Comisión Federal de Electricidad.

Empresa que realizó la obra: Otras empresas e Ingenieros Civiles Asociados (ICA).

Participación de ICA en la obra: Participó en la construcción de la obra civil del proyecto ejecutando el camino de acceso, el túnel auxiliar de desvío, los dos túneles principales de desvío y la ataguía aguas arriba. También instaló los sistemas de tratamiento, conducción y distribución de todos los materiales que forman la cortina de enrocamiento.

Descripción de la obra: La presa hidroeléctrica Chicoasén está sobre el río Grijalva, a la salida del Cañón del Sumidero, y forma parte del sistema de aprovechamiento hidroeléctrico del propio río. Es la segunda presa aguas arriba desde la desembocadura. Consta de una cortina de enrocamiento con una altura de 255 m y una longitud sobre la corona de 515 m.

Se eligió este tipo de cortina tomando en cuenta costo y riesgo sísmico. La obra de toma consiste en un canal de llamada para 8 bocatomas en rampa. Las conducciones a presión, de 6.20 m de diámetro, están revestidas con concreto y encamisadas en acero. La casa de máquinas se aloja en caverna y tiene 20.50 m de ancho, 199 m de largo y 43 m de altura.

Puede alojar hasta ocho unidades turbogeneradoras de 300 MW de capacidad cada una. Las primeras cinco con capacidad de 1,500 MW entraron en operación comercial entre los años 1980-1981, y para 2004 la capacidad de la central fue 2,400 MW.

La obra de excedencia, sobre la margen izquierda, está formada por un canal de llamada que conduce hasta 15,000 m³ de agua a través de 3 túneles de 15 m de diámetro y 1,300 m de longitud. Un punto a resaltar es que ICA llevó a cabo el proyecto, el diseño y la construcción del camino de acceso a la obra. La solución propuesta y realizada por ICA economizó, comparada con la alternativa que le seguía, 8 km de recorrido y 400 m de desnivel. El proyecto incluyó la perforación y estabilización del primer túnel carretero construido en el país con casi 900 m de longitud.

DATOS TECNICOS

DATOS TECNICOS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA ING. MANUEL MORENO TORRES		
1ª ETAPA		
OBRA DE TOMA	NÚMERO DE TOMAS	5
	GASTO MÁXIMO POR TOMA	185 m³/s
TURBINAS	No y TIPO	5 UNIDADES TIPO FRANCIS VERTICAL
	MARCA	MITSUBISHI
	POTENCIA MÁXIMA (Mw)	318
	CAUDAL DE DISEÑO (m³/s)	184.10
	CARGA NETA DE DISEÑO (m)	185
	VELOCIDAD DE ROTACION (rpm)	163.64
	DIÁMETRO DEL RODETE (mm)	4800
GENERADORES	MARCA	ASEA
	TIPO	ESTRELLA
	CAPACIDAD NOMINAL (MVA)	345
	TENSION NOMINAL (KV)	17
	FACTOR DE POTENCIA	0.95
	FRECUENCIA (HZ)	60
	EXCITACION	340 V 1840 A
TRANSFORMADORES	NÚMERO	15
	MARCA	IEM
	TIPO (NÚMERO DE FASES)	TRIFASICO
	CAPACIDAD NOMINAL (MVA)	115
	CLASE DE ENFRIAMIENTO	TIPO FOW (ACEITE)
	TENSION DE TRANSFORMACION (KVA)	17/400
SUBESTACION ELECTRICA	LINEAS, DESTINO	JUILE 2(A3a40-A3140) ANGOSTURA A3030 SABINO A3130 JUILE A3T90 MALPASO A3050 MALPASO A3130
	TENSION	400 KV

Tabla 1. Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica de las unidades de la primera etapa.

Fuente: C.H. Manuel Moreno Torres

DATOS TECNICOS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA ING. MANUEL MORENO TORRES		
2ª ETAPA		
OBRA DE TOMA	NÚMERO DE TOMAS	3
	GASTO MÁXIMO POR TOMA	185 m³/s
TURBINAS	No y TIPO	3 UNIDADES TIPO FRANCIS VERTICAL
	MARCA	ALSTOM
	POTENCIA MÁXIMA (Mw)	310
	CAUDAL DE DISEÑO (m³/s)	184.75
	CARGA NETA DE DISEÑO (m)	179
	VELOCIDAD DE ROTACION (rpm)	180
	DIÁMETRO DEL RODETE (mm)	4540
GENERADORES	MARCA	ALSTOM
	TIPO	Y
	CAPACIDAD NOMINAL (MVA)	300
	TENSION NOMINAL (KV)	17
	FACTOR DE POTENCIA	0.95
	FRECUENCIA (HZ)	60
	EXCITACION	355 V 1937 A
TRANSFORMADORES	NÚMERO	9
	MARCA	KONCAR
	TIPO (NÚMERO DE FASES)	TRIFASICO
	CAPACIDAD NOMINAL (MVA)	115
	CLASE DE ENFRIAMIENTO	TIPO FOW (ACEITE)
	TENSION DE TRANSFORMACION (KVA)	17/400
SUBESTACION ELECTRICA	LINEAS, DESTINO	TUXTLA I 73650 TUXTLA SUR 73350 SABINO 73800 OCOZOCUATLA 73500 SAN CRISTOBAL 73660 MALPASO 73940
	TENSION	115 KV

Tabla 2. Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica de las unidades de la segunda etapa.
Fuente: C.H. Manuel Moreno Torres

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

CONCEPTOS GENERALES SOBRE CENTRALES ELÉCTRICAS

Iniciamos el estudio de las centrales eléctricas. Pero antes, y para evitar confusiones, definiremos el concepto de central eléctrica.

Llamaremos central eléctrica al conjunto de máquinas motrices, generadores, aparatos de maniobra y protección etc. Que sirven para la producción de energía eléctrica.

En realidad el nombre de central eléctrica, es la abreviación de central generadora de energía eléctrica, lo que hay que tener en cuenta para evitar confusiones con otros conceptos relacionados.

La central eléctrica se denomina central térmica cuando la energía eléctrica se produce por medio de máquinas motrices térmicas (turbinas de vapor, motores Diesel, etc.), central hidráulica cuando las máquinas motrices son turbinas hidráulicas y central nuclear cuando se aprovecha la energía existente en los núcleos atómicos de ciertos cuerpos; en realidad las centrales nucleares son centrales térmicas en las que la energía térmica producida por la combustión de un combustible, ha sido sustituida por la energía, también térmica, producida al fisionarse (es decir, partirse) los núcleos atómicos de materiales adecuados.

Se llama subcentral eléctrica y también, subestación eléctrica, al conjunto de aparatos y dispositivos de transformación, conversión y distribución de energía eléctrica, instalados en un edificio o al aire libre, y cuya misión es alimentar una red eléctrica.

Entre las subestaciones eléctricas, distinguiremos:

1. Subestación transformadora.

Destinada a transformar la corriente alterna de una tensión determinada, en corriente alterna de otra tensión diferente.

2. Subestación convertidora.

Destinada a convertir la corriente alterna en corriente continua, o viceversa.

3. Subestación distribuidora.

Como su nombre indica, destinada a distribuir la energía eléctrica sin modificar sus características.

TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS

Según el servicio que hayan de prestar las centrales eléctricas se pueden clasificar en:

Centrales de base:

Destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica, de forma continua. Estas centrales llamadas también centrales principales, son de gran potencia y utilizan generalmente como máquinas motrices las turbinas de vapor, turbinas de gas y turbinas hidráulicas.

Centrales de puntas:

Exclusivamente proyectadas para cubrir las demandas de energía eléctrica en las horas-punta; en dichas horas-punta, se ponen en marcha y trabajan en paralelo con la central principal.

Centrales de reserva:

Que tienen por objeto sustituir total o parcialmente a las centrales hidráulicas de base en casos de escasez de agua o avería en algún elemento del sistema eléctrico. No deben confundirse con las centrales de puntas anteriormente citadas, ya que el funcionamiento de las centrales de puntas es periódico (es decir, todos los días a ciertas horas) mientras que el de las centrales de reserva es intermitente.

Como centrales de reserva se utilizan, normalmente, centrales térmicas cuyas máquinas motrices son turbinas de vapor y, en instalaciones de pequeña potencia, motores Diesel.

Centrales de socorro:

Tienen igual cometido que las centrales de reserva citadas anteriormente; pero la instalación del conjunto de aparatos y máquinas que constituyen la central de reserva, es fija, mientras que las centrales de socorro son móviles y pueden desplazarse al lugar donde sean necesarios sus servicios. Estas centrales son de pequeña Potencia y generalmente accionadas por motores Diesel; se instalan en vagones de ferrocarril, o en barcos especialmente diseñados y acondicionados para esta misión.

Centrales de acumulación o de bombeo:

Que son siempre hidroeléctricas, Se aprovecha el sobrante de potencia de una central hidroeléctrica en las horas de pequeña demanda, para elevar agua de un río o de un lago hasta un depósito, mediante bombas centrifugas accionadas por los alternadores de la central, que se utilizan como motores. En los períodos de gran demanda de energía, los alternadores trabajan como generadores accionados por las turbinas y utilizan el agua previamente elevada anteriormente.

CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

El agua que corre sobre la superficie de la tierra en los ríos, tiene una energía cinética que gasta venciendo los obstáculos que se oponen a su libre curso; y, de esta forma, desarrolla calor, transporta materiales, erosiona las márgenes y el fondo, etc. Esta energía cinética depende de la velocidad del agua la que, a su vez, es función de la pendiente y de la rugosidad del cauce. Es imposible anular totalmente esta rugosidad pero puede disminuirse y, como consecuencia, el mismo caudal de agua podría circular con menor pendiente. De forma que podría derivarse la corriente de agua por un canal lateral con menor rugosidad y menor pendiente que el cauce primitivo. Con esto, la diferencia de nivel entre las aguas del canal y el cauce del río iría aumentando a medida que fuese mayor la longitud del canal. En un punto apropiado podríamos pasar este canal de agua por máquinas motrices hidráulicas que transformarían la energía potencial del agua en energía mecánica, devolviendo después el agua al río. De esta manera habríamos conseguido un salto de agua (es decir, un desnivel), con canal de derivación.

También se puede obtener este desnivel, elevando el nivel del agua por atajamiento de la corriente mediante una presa o azud. Entre las dos soluciones citadas (canal de derivación y presa) caben soluciones mixtas que son las más utilizadas se ataja el río con una presa que embalse las aguas, las cuales se derivan, junto a la presa, con un canal que se prolonga hasta el punto conveniente en que se sitúa la central, es decir las turbinas hidráulicas y los generadores por ellas accionados.

De esta forma, el salto de agua se obtiene en parte por la elevación del nivel del agua en la presa y en parte por la menor pendiente del canal respecto al cauce. Indudablemente, el aprovechamiento de la energía hidráulica, no hubiera sido posible sin la turbina; pero este aprovechamiento hubiera sido muy limitado sin la conversión de la energía mecánica de la turbina, en energía eléctrica que, como sabemos, puede transportarse a largas distancias.

Esta característica de la energía eléctrica, ha permitido aumentar el radio de acción de los aprovechamientos hidroeléctricos.

Antes siendo muy limitada la capacidad de consumo dentro de la limitada distancia de transporte, las instalaciones hidroeléctricas eran de escasa potencia. Actualmente, sin la limitación indicada, la tendencia es a realizar grandes aprovechamientos con embalses de cabecera, que determina la regulación anual del río y depósitos reguladores, situados en lugares apropiados, con los que se consigue la regulación diaria o semanal. En conjunto, se pretende el aprovechamiento integral de un río o de una cuenca completa (es decir, de un río y todos sus afluentes), mediante sucesivos saltos de agua, construidos en los lugares más apropiados (por ejemplo, en los sitios de mayor desnivel, o cuando el cauce es angosto y elevado porque entonces la presa resulta más económica de construir, etc.

CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Los tipos de centrales hidroeléctricas son variadísimos ya que, en todos los casos, la construcción de una central hidroeléctrica, debe subordinarse a la especial situación del río, embalse, etc. cuya energía se pretende aprovechar. De todas maneras, las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse en:

Centrales de alta presión.

Alturas de salto hidráulico superiores a los 200 m. Como máquinas motrices se utilizan generalmente turbinas Pelton o, para los saltos de menor altura, turbinas Francis lentas.

Centrales de media presión.

Alturas de salto hidráulico comprendidas entre 20 y 200 m. Las máquinas motrices empleadas son las turbinas Francis medias y rápidas, correspondiendo estas últimas a los saltos de menor altura, dentro de los límites indicados.

Centrales de baja presión.

Alturas de salto hidráulico, inferiores a 20 m. Es la zona de utilización de las turbinas Francis extra rápidas, de las turbinas de hélice y, sobre todo, de las turbinas Kaplan.

Las centrales hidroeléctricas también se clasifican como sigue:

Las centrales de agua corriente.

Se construyen en los sitios en que la energía hidráulica disponible puede utilizarse directamente para accionar las turbinas de tal forma que, de no existir la central, esta energía hidráulica se despreciaría. Como sabemos, el caudal del río es variable en las diferentes estaciones del año; además, en muchos casos, hay que contar con años de sequía y años de abundancia de agua. La central de agua corriente puede construirse para el mínimo disponible de caudal pero entonces, en las épocas de abundante caudal, el exceso es desaprovechado; también puede construirse para el caudal máximo y, en este caso, en las épocas de escasez de agua la central trabaja con poca carga y, por lo tanto, con bajo rendimiento. La solución más económica, y la que se emplea normalmente, es una solución media entre los dos extremos citados.

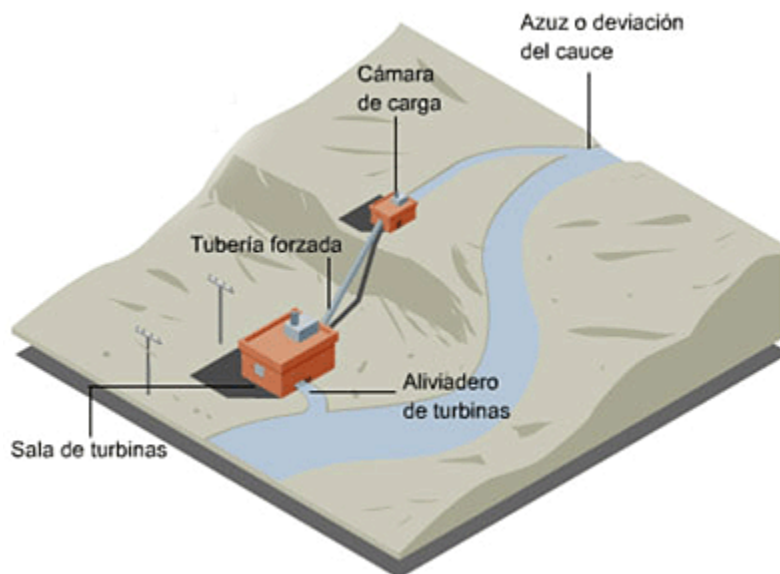


Fig. 4.-Representación esquemática de una central de agua corriente.

Centrales de agua embalsada

En las centrales embalsadas como se muestra en la figura, se consigue un embalse artificial o pantano, en el cual se acumula el agua, que podemos aprovechar en la central, según necesidades. El embalse se consigue, generalmente, por medio de una presa situada en lugares apropiados del río (por ejemplo, en sitios angostos y de márgenes rocosas).

29

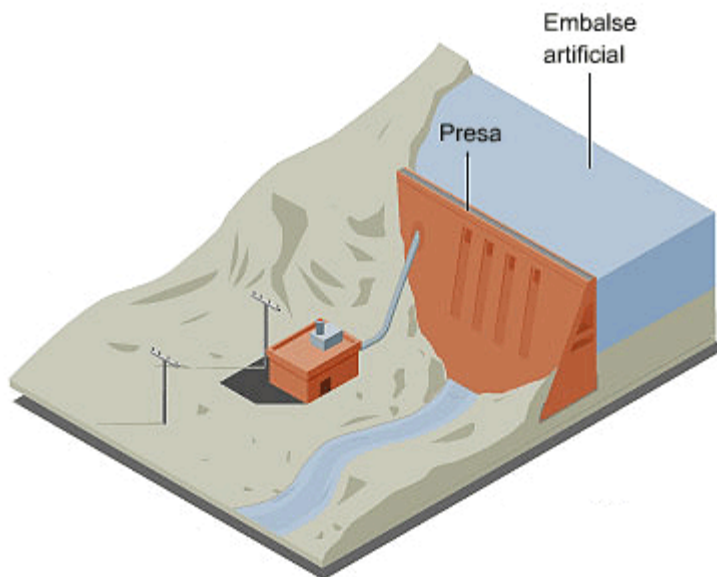


Fig. 5.-Representación esquemática de una central de agua embalsada.

DISPOSICIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Ya hemos dicho que para la formación de un salto de agua es preciso elevar el nivel superficial de ésta sobre el nivel normal de la corriente, atajando el agua con una presa para producir el salto total utilizable, en la misma presa, o contribuir a este salto, derivando a la vez las aguas por un canal de derivación de menor pendiente que el cauce del río.

Las aguas del canal de derivación hay que conducir las a las turbinas y, para ello, en los saltos menores de unos 12 m, el agua desemboca directamente en la cámara de turbinas y, en los saltos superiores a 12 m, termina en un ensanchamiento llamado cámara de presión desde donde parte la tubería a presión que en conducción forzada, lleva el agua a las turbinas.

A la salida de las turbinas, el agua pasa a un canal de desagüe por el que desemboca nuevamente en el río. Esto en términos generales; pero existen numerosas variantes de esta disposición, de las que vamos a estudiar a continuación las más utilizadas en la práctica.

1ª Disposición. La disposición más completa está indicada en la figura 3 y consta de todos los elementos citados en el párrafo anterior, es decir:

1. Presa
2. Canal de derivación
3. Cámara de presión
4. Tubería de presión
5. Central
6. Tubería de desagüe
7. Parque de distribución a alta tensión

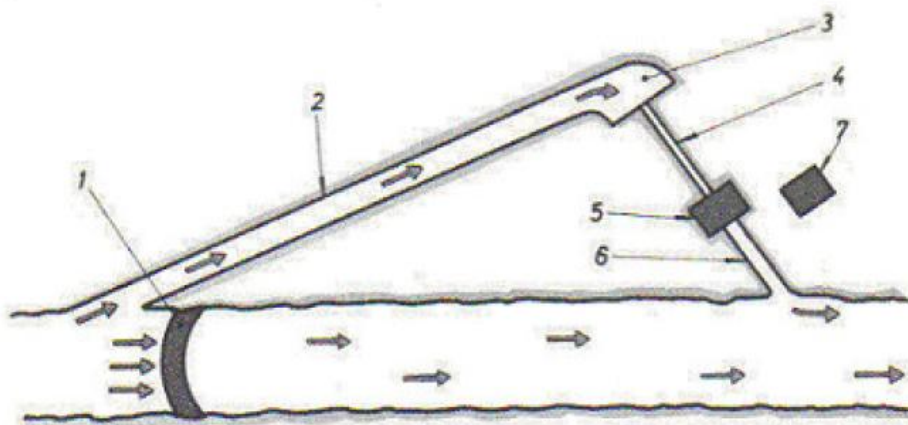


Fig. 6.-Central hidroeléctrica con canal de derivación, cámara de presión, tubería de presión y tubería de desagüe: 1-Presa. 2-Canal de derivación. 3-Cámara de presión. 4-Tubería de presión. 5-Central. 6-Tubería de desagüe. 7-Parque de distribución a alta tensión.

2ª Disposición. Pero, dentro de las ideas actuales de máximo aprovechamiento del agua que en toda época del año lleva la corriente, la mejor disposición parece ser la indicada en la figura 4 y que está constituida por los siguientes elementos:

1. Presa para embalsar las aguas en épocas de abundancia y regularizar la corriente.
2. Galería de presión derivada directamente de la presa a nivel inferior.
3. Chimenea de equilibrio.
4. Tubería de presión.
5. Central.
6. Canal de desagüe.
7. Parque de distribución a alta tensión.

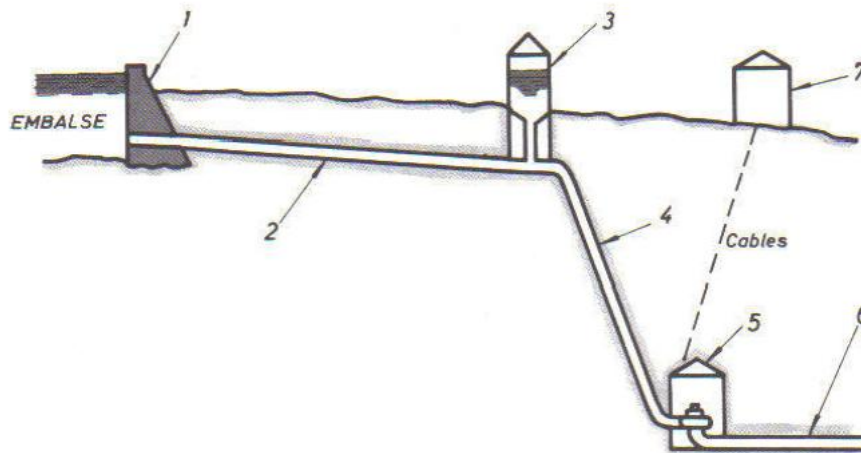


Fig. 7.-Central hidroeléctrica con galería de presión, chimenea de equilibrio, tubería de presión y canal de desagüe.

En esta disposición, se sustituye la cámara de presión anteriormente citada, por la chimenea de equilibrio que, como veremos en el próximo capítulo, sirve para amortiguar los golpes de ariete que se originan por la aceleración o deceleración del agua en la tubería como consecuencia de las variaciones de carga en las turbinas y, además, por proporcionar a dichas turbinas en los

primeros segundos de demanda rápida de caudal, el necesario hasta lograrse el régimen normal.

Hay casos en que las circunstancias locales de relieve del terreno de la corriente de agua utilizada, o de la explotación que se va hacer de la energía que se capte permite suprimir algunas de las construcciones citadas para los dos casos anteriores; entonces, entre otras, pueden presentarse las siguientes disposiciones.

3ª Disposición. Salto sin canal de derivación y constituido, por lo tanto, tal como se indica en la figura 5, es decir, por los siguientes elementos:

1. Presa
2. Tubería de Presión, que parte directamente de la presa.
3. Central.
4. Canal de desagüe.
5. parque de distribución a alta tensión.

Como ejemplo, véase la siguiente figura del perfil longitudinal del aprovechamiento hidroeléctrico de la central hidroeléctrica **ING. MANUEL MORENO TORRES "CHICOASEN"**, sobre el río Grijalva.

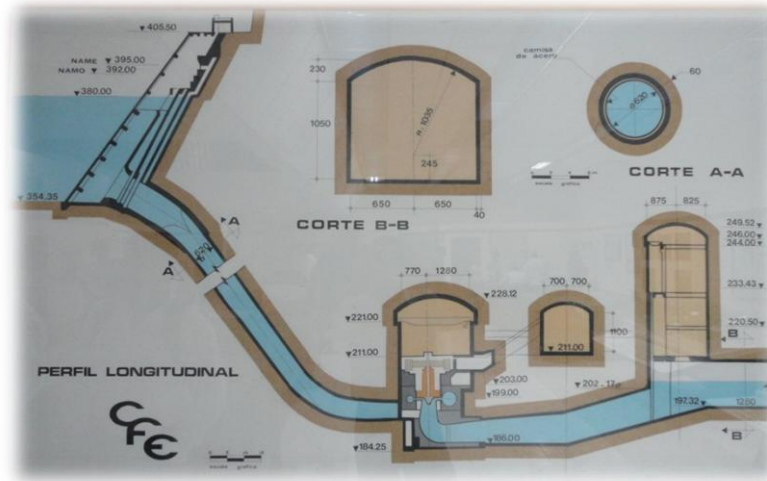


Fig. 8 Perfil longitudinal del aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Grijalva(C.H. ING. MANUEL MORENO TORRES)”

4ª Disposición. Salto sin canal de desagüe y constituido por los siguientes elementos:

1. Presa.
2. Canal de derivación.
3. Cámara de presión.
4. Tubería de presión.
5. Central.
6. Parque de distribución a alta tensión.

5a Disposición. Salto sin canal de derivación ni canal de desagüe. En estas centrales, las tuberías forzadas parten directamente del pie de la presa y, por lo tanto, tal como se representa en la figura 8, consta de los siguientes elementos:

1. Presa
2. Tubería de presión.
3. Central.
4. Parque de distribución a alta tensión.

6a Disposición. En esta disposición se suprimen los canales de derivación y las tuberías de presión; este caso es muy frecuente en saltos de pequeña altura, determinados sólo por la presa. Una instalación de este tipo consta de los siguientes elementos:

1. Presa.
2. Central.
3. Canal de desagüe.
4. Parque de distribución a alta tensión.

7ª. Disposición. Se denominan centrales de pie de presa. En las cuales no hay canal de derivación, ni tubería de presión ni canal de desagüe, lo que simplifica extraordinariamente la construcción de la central que está construida directamente formando conjunto con la presa.

Por lo general, se trata de centrales de agua corriente, para pequeños saltos. De acuerdo con la figura 19, los elementos constitutivos de una central de este tipo, son los siguientes:

1. Presa.
2. Central.
3. Parque de distribución a alta tensión.

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

COMPUERTAS

Como primera definición consideramos a una compuerta como una Puerta movable que se coloca en las esclusas de los canales y en los portillos de las presas de río para detener o dejar pasar las aguas.

De otro modo una compuerta hidráulica puede definirse como una barrera móvil para controlar el paso de un fluido a través de un canal o de una represa. Esta definición explica a la compuerta hidráulica como una estructura de funcionamiento mecánico que posee ciertas características físicas para el control de un flujo a través de un sistema hidráulico.

A sus inicios el uso de compuertas en estructuras hidráulicas estaba estrechamente ligado a la búsqueda de soluciones para problemas de irrigación, suministro de agua y sistemas de navegación. En los comienzos de la ingeniería hidráulica se utilizaban diques de represamiento para depositar el agua en canales de irrigación y los excesos de agua eran vertidos sobre el dique. Como una evolución natural a este mecanismo, se empezaron a construir diques móviles, los cuales podían ser desplazados de su posición original para permitir que los excesos vertieran con mayor seguridad para el conjunto del sistema hidráulico.

Componentes de una compuerta

Las compuertas constan básicamente de 3 componentes: la hoja o placa, las partes incrustadas y los mecanismos de operación. La hoja o placa es un elemento movable que servía como tabique hermético para el paso del agua, su principal función es represar el fluido. Los sellos o empaques están hechos de bandas de caucho y están enroscados en la placa plana.

Los elementos de guía y soporte se encuentran adjuntos a la hoja, tales como ruedas, rodillos, zapatas, placas de soporte etc.

37

Los componentes incrustados se pueden ver como todos los elementos que están unidos al concreto y que se encargan de guiar y acoger la hoja, para redistribuir en el concreto las fuerzas actuantes en la compuerta. Elementos que pertenecen a este tipo pueden ser entre otros, los rieles para ruedas o deslizaderos, guías laterales, contraguías, dinteles o soportes de los empaques.

Los mecanismos de operación son los directamente responsables de la apertura y cerrada de las compuertas. Algunas compuertas son movidas por la presión del agua, tales como las *de sector, de tambor y de trabado*.

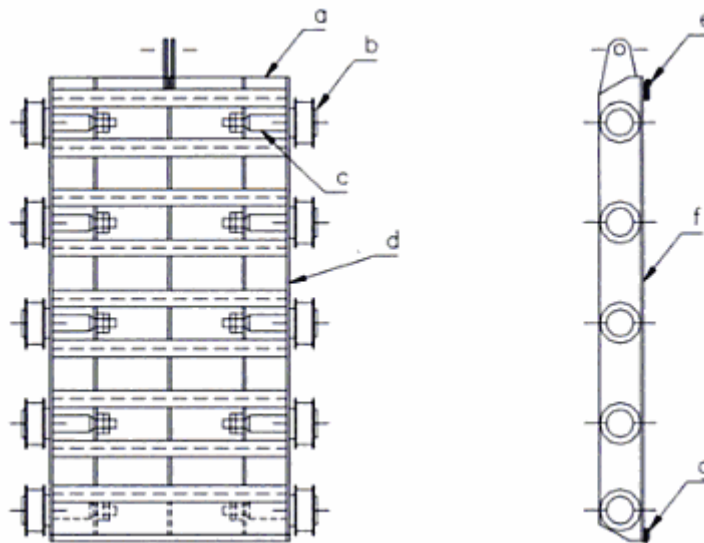


Fig. 9. a) Hoja de la compuerta. b) ruedas. c) pasador de ruedas. d) travesaño terminal. e) empaque superior. f) placa plana g) empaque inferior.

Aplicaciones principales

Las compuertas tienen un amplio rango de aplicación en diversos campos de la ingeniería civil e hidráulica. Entre sus principales usos se puede hacer el siguiente listado:

- a) Control de flujos de aguas
- b) Control de inundaciones
- c) Proyectos de irrigación
- d) Crear reservas de agua
- e) Sistemas de drenaje
- f) Proyectos de aprovechamiento de suelo
- g) Plantas de tratamiento de agua
- h) Incrementar capacidad de almacenamiento de las presas

COMPUERTAS SEGÚN SU TIPO Y CLASIFICACION

Las diferentes formas de las compuertas dependen de su aplicación, el tipo de compuerta a utilizar dependerá principalmente del tamaño y forma del orificio, de la cabeza estática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación.

Compuertas Planas de Rodillos

Las compuertas planas de rodillos están diseñadas especialmente para controlar el flujo a través de grandes canales donde la economía y la facilidad de operación sean dos factores preponderantes. Son denominadas compuertas de rodillos ya que están soportadas en rodillos que recorren guías fijas y generalmente tienen sellos de caucho para evitar filtraciones a través de los rodillos.

Los rodillos minimizan el efecto de la fricción durante la apertura y el cierre de las compuertas, como consecuencia de estos se necesita motores de menor potencia para moverlas. Pueden ser diseñadas para abrirse hacia arriba o hacia abajo.

Estas compuertas son muy versátiles ya que pueden diseñarse tanto para trabajar bajo presión en una o ambas caras simultáneamente. Generalmente son de sección transversal hueca, para disminuir la corrosión e infiltraciones son rellenas con materiales inertes como el concreto.

Compuertas Radiales (Taintor)

Las compuertas radiales se construyen de acero o combinando acero y madera. Constan de un segmento cilíndrico que está unido a los cojinetes de los apoyos por medio de brazos radiales. La superficie cilíndrica se hace concéntrica con los ejes de los apoyos, de manera que todo el empuje producido por el agua pasa por ellos; en esta forma sólo se necesita una pequeña cantidad de movimiento para elevar o bajar la compuerta. Las cargas que es necesario mover consisten en el peso de la compuerta, los rozamientos entre los cierres laterales, las pilas, y los rozamientos en los ejes. Con frecuencia se instalan contrapesos en las compuertas para equilibrar parcialmente su peso, lo que reduce todavía más la capacidad del mecanismo elevador.

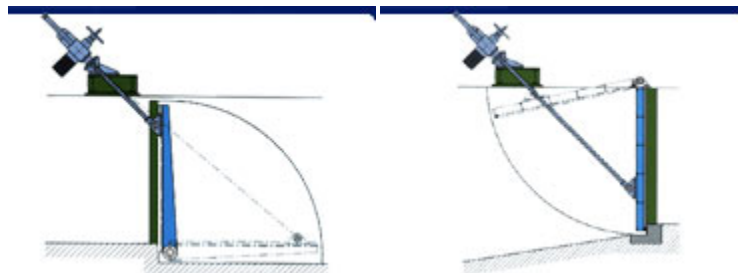


Fig. 10 Compuerta de tipo radial.

La ventaja principal de este tipo de compuertas es que la fuerza para operarlas es pequeña y facilita su operación ya sea manual o automática; lo que las hace muy versátiles.

Compuertas Flap o Clapetas

Llamadas también clapetas, formadas por un tablero articulado en su arista de aguas arriba que puede abatirse dando paso al agua. Estas compuertas se abren automáticamente por un diferencial de presión aguas arriba y se cierran cuando el nivel aguas abajo supera el nivel aguas arriba o cuando el nivel aguas arriba alcance el nivel deseado de almacenamiento.

Existen compuertas clapeta de contrapeso, en las que los tableros se mantenían en su posición elevada por medio de un puntal, hasta que la sobre elevación del nivel del agua les hacía bascular sobre el extremo superior del puntal; también las hay sin contra peso que son recomendadas para aquellos casos de poca altura de agua y gran luz de vano.

Compuertas Ataguía

Están compuestas de vigas separadas colocadas unas sobre otras para formar un muro o ataguía soportado en ranuras en sus extremos. La separación de las pilas de apoyo depende del material de las vigas, de la carga que obre en ellas, y de los medios que se disponga para manejarlas, es decir, para quitarlas y ponerlas.

Compuertas Mariposa

Las compuertas tipo mariposa son utilizadas para controlar el flujo de agua a través de una gran variedad de aberturas. Aunque pueden ser utilizadas para controlar el flujo en ambas direcciones la mayoría de las instalaciones sólo las utilizan para controlar el flujo en una dirección.

Con las compuertas mariposa es posible tener una máxima cabeza de energía en ambos lados de la compuerta. La cabeza estática se mide desde el eje horizontal de apertura de la compuerta.

41

La mayoría de estas compuertas son instaladas en sitios con baja cabeza de presión (menor a 6 metros). Las secciones transversales de este tipo de compuertas normalmente son cuadradas o rectangulares; las secciones circulares no son muy comunes ya que estas se utilizan en válvulas mariposa. Son ideales cuando hay poco espacio disponible ya que al girar respecto a un eje, no es necesario disponer de espacio para levantarlas y allí se puede ubicar el mecanismo de apertura. Estas pueden ser utilizadas como reguladoras de flujo, pues al rotar la hoja cambia el tamaño de la abertura y se regula el caudal que fluye a través de ella.

Compuertas Caterpillar (Tractor)

Son también conocidas como Compuertas de Broome, en honor a su inventor. Este tipo de compuertas son utilizadas tanto para altas como para bajas cabezas de presión. Han sido utilizadas con cabezas hasta de 200 pies en varios proyectos hidroeléctricos y de control de inundaciones.

Ambos extremos de la compuerta están equipados con orugas que facilitan su desplazamiento a lo largo de ranuras paralelas a los lados de la compuerta. Las orugas se mueven alrededor de la compuerta mientras la compuerta es movida. Este tipo de compuertas es movido por medio de cables de acero tirados por motores, lo que facilita su operación bajo diferentes condiciones de flujo.

Compuertas Cilíndricas

Las compuertas cilíndricas consisten en cilindros sólidos de acero (generalmente) abiertas en ambos extremos, que funcionan por el balance de las presiones de agua en las superficies interior y exterior. Este tipo de compuertas generalmente son levantadas por medio de cables o máquinas hidráulicas; como la presión del agua siempre se encuentra balanceada, el único peso que debe ser movido es el equivalente al peso propio de la compuerta.

Compuertas Planas Deslizantes

Se les llama compuertas deslizantes pues para su accionar se deslizan por unos rieles guías fijos. Puede ser movida por diferentes tipos de motores.

Estas compuertas pueden ser de acero estructural, madera y en caso de pequeñas cabeza de hierro, el espesor y el material de la compuerta dependerá de la presión del agua y el diseño de los sellos. Al trabajar a compresión estas compuertas tienen buenas adaptaciones a los sellos presentando pequeñas fugas.

Este tipo de compuertas han sido utilizadas para todo tipo de cabezas, pero resultan ser **mas** económicas para pequeñas cabezas y tamaños moderados pues necesitan grandes fuerzas para ser movidas.

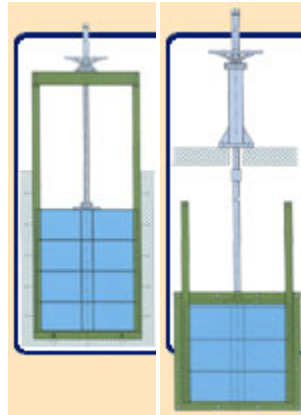


Fig. 11 Compuerta del tipo plana deslizante, como la utilizada en la Central Hidroeléctrica de Chicoasen

CLASIFICACION

Según el tipo de operación o funcionamiento:

- Compuertas Principales: se diseñan para operar bajo cualquier condición de flujo; se les llama de regulación cuando se les conciben para controlar caudales en un canal abierto o sobre una estructura de presa, con aberturas parciales, y se conocen como compuertas de guarda o de cierre aquellas que funcionan completamente abiertas o cerradas.
- Compuertas de emergencia: se utilizan en los eventos de reparación, inspección y mantenimiento de las compuertas principales, siendo concebidas para funcionar tanto en condiciones de presión diferencial, en conductos a presión, como en condiciones de presión equilibrada.

De acuerdo a sus características geométricas:

- Compuertas planas:
 - Rectangulares
 - Cuadradas
 - Circulares
 - Triangulares

Según el mecanismo de izado:

- Compuertas deslizantes: el elemento de cierre u obturación se mueve sobre superficies deslizantes (guías o rieles) que sirven, a la vez, de apoyo y sello. Generalmente, se construyen en acero colado, y se emplean en estructuras de canales y en algunas obras de captación, en presas o tanques de regulación. La hoja de la compuerta o elemento de obturación se acciona con un mecanismo elevador, a través de un vástago o flecha de acero.

- Compuertas rodantes: el elemento de cierre u obturación se mueve sobre un tren de ruedas, rodillos o de engranajes, hasta la posición de estanca. Se utilizan en obras de toma profunda, para casos de emergencia y de servicio, así como para cierre en mantenimiento, en conductos a presión. Ruedan a su posición de sello debido a su propio peso y se izan con cadenas o cables por medio de grúas especiales, fuera de la superficie del agua, hasta una caseta de operación, donde se les hace mantenimiento.

MECANISMOS COMPLEMENTARIOS

Por sus grandes dimensiones, peso y cargas que deben soportar, las compuertas deben ser movidas por sistemas mecánicos (eléctricos, hidráulicos, manuales). Estos sistemas pueden ser de gran variedad y su utilización depende de múltiples factores tales como espacio disponible, cargas transmitidas a la estructura y por supuesto el tipo de compuerta que deben mover. Los sistemas más comunes son: pórticos, puentes grúa, vigas de alce, servomotores, contrapesos y malacates.

Se deben incluir mecanismos adicionales como: marcos, sellos, rieles, fuentes de potencia, dispositivos de transporte y sistemas de control para garantizar su buen funcionamiento.

MATERIALES DE FABRICACION

Entre otros, de acuerdo a sus necesidades y aplicaciones:

- Acero Inoxidable
- Acero al Carbón
- Aluminio
- Plásticos de Ingeniería
- Revestimientos

RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

- Normas CFE
- Normas CNA
- Protección Catódica
- Galvanizados, etc.

TIPO DE MONTAJES

- A Canal
- A Mural

TIPOS DE ACCIONAMIENTOS

- Manual con Volante directo / cadena
- Manual con caja de engranes
- Eléctrico Motorizado
- Neumático

- Hidráulico
- Combinaciones
- Automatización
- Eléctrico por motorreductor
- Eléctrico por servomotor
- Hidráulico

Accionamiento manual.

Dicho accionamiento se efectúa por mediación de una tuerca de bronce conjuntamente con husillo de rosca trapecial, y un volante de maniobra cuyas características técnicas se describen en el diseño de las compuertas, asimismo se incluyen rodamientos, bolas y casquillos de bronce o nylon.

Este accionamiento en las compuertas de un solo husillo puede ser directo o bien por mediación de reductor, rodamientos axiales de bola o de rodillo.

Accionamiento por motorreductor.

El motorreductor a introducir se aplicara en función de las dimensiones y presión hidráulica en la compuerta. Tendrá una velocidad óptima que produzca un mínimo desgaste del husillo en la subida de la compuerta (0.03 mts/min.). El accionamiento eléctrico irá acompañado de un limitador de par eléctrico para evitar sobreesfuerzos, y dos finales de carrera en cuanto a final de recorrido.

En compuertas de un husillo el motorreductor se acoplara directamente, en compuertas de dos husillos se colocara en el extremo o en el centro de la compuerta y siempre acompañado de dos reenvíos. Llevara un volante de emergencia manual.

47

Accionamiento por servomotor

En el servomotor irán alojados final de carrera, limitador de par, y mecanismos de regulación de la compuerta, lo que permitirá regular los niveles. La posición del servomotor ira en función del número de husillos al igual que el motorreductor.

Accionamiento hidráulico

Mediante cilindros hidráulicos, solo tiene aplicación en compuertas de un solo husillo. El vástago se une directamente a la tajadera y el cilindro se ancla al puente de la compuerta. El sistema será de apertura todo-nada.

SELLOS PARA COMPUERTAS

Su función es la de evitar filtraciones en la compuerta manteniendo así la hermeticidad requerida, Los sellos más utilizados son:

Sello tipo nota musical, estos perfiles se usan generalmente en compuertas grandes y pesadas ya que su robusta configuración les permite sellar bajo grandes presiones ya sea por la presión del agua, la presión del cierre o por ambos sin perder su sello y su forma.

Sello tipo h deslizante, este sello se usa generalmente en compuertas para canales de riego, normalmente son para compuertas más ligeras y pequeñas donde la presión del cierre es mucho más ligera.

Sello tipo L, estos sellos aunque son menos usados, trabajan en forma análoga a los sellos tipo nota musical ya que también son de construcción robusta porque se usan para hacer sello en compuertas sujetas a grandes presiones y proporcionan un excelente sellado.

48

Propiedades Físicas

Resistencia mínima a la tensión 211 kg/cm² (3000 psi).

Alargamiento mínimo en el momento de ruptura 450 % .

Gravedad Especifica 1.5 + 0.03

Absorción máxima de agua por peso 5% .

Deformación permanente máxima por compresión 30 % de la deflexión original.



Fig 12. Sellos para compuertas, tipo nota musical. Ver anexos.

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

AUSTENÍTICOS

Los aceros inoxidable austeníticos al Cromo-Níquel se caracterizan por los siguientes porcentajes de los materiales que lo componen.

CARBONO: entre 0,02% a 0,25%

CROMO: entre 17,0% a 26,0%

NÍQUEL: entre 7,0% a 22,0%

Poseen características mecánicas muy buenas de gran ductilidad, no son magnéticas y presentan excelente soldabilidad. Cuentan con un sin número de aplicaciones.

FERRÍTICOS

Los aceros inoxidable ferríticos.

CARBONO: máximo 0,12%

CROMO: desde 11,0%

Son magnéticos. A pesar de tener una cantidad menor de carbono que los martensíticos, se toman parcialmente austeníticos a altas temperaturas y precipitan martensita durante el enfriamiento. Son parcialmente endurecibles por tratamiento térmico.

MARTENSÍTICOS

Los aceros inoxidable martensíticos.

CARBONO: entre 0,10% a 0,50%

CROMO: desde 11,0%

Son magnéticos y la concentración de carbono permite la formación de austenita en altas temperaturas. Son endurecibles por tratamiento térmico. Estos aceros son producidos en estado recocido, y en condición de templado aumenta su resistencia a la corrosión.

CORROSIÓN

La inadecuada selección de un material con resistencia a la corrosión, puede ser un error de alto costo. Los perjuicios directos o indirectos son:

- Sustitución del equipo corroído.
- Superdimensionado para soportar la corrosión.
- Interrupción del proceso productivo debido a pérdidas.
- Contaminación del producto y medio ambiente.

Algunos de esos costos indirectos, pueden ser muchas veces superiores a los del material y deben ser considerados en el momento de la elección de la calidad del acero inoxidable.

En el caso de los aceros inoxidables, la resistencia a la corrosión se debe fundamentalmente a la capacidad que poseen de formar una película protectora (película pasiva) sobre su superficie, en ambientes oxidantes.

La película pasiva es resistente a procesos de oxidación posteriores a su formación y a otras formas de ataques químicos.

Su espesor puede estar a nivel molecular; la película es invisible y generalmente tiene la capacidad protectora en ambientes oxidantes, por ejemplo, al aire y en ácido nítrico.

La película pasiva de los aceros inoxidables se debe a la presencia de Cromo en la aleación.

Cuando el contenido de cromo libre en la aleación es superior a 11%, el acero no se oxida y es llamado "stainless", Inoxidable. Contenidos superiores de cromo siempre amplían la posibilidad de mantener el grado de resistencia. Las adiciones de Níquel y Molibdeno extienden el rango de pasivación (la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material frecuentemente un metal, que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos.)

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES SEGÚN NORMA AISI

Sobre la base de un determinado grado; AISI 420, para los martensíticos; AISI 430 para los ferríticos, AISI 304 y AISI 316 para los austeníticos y para los Austenoferríticos: AISI 201 y AISI 202; modificando uno o varios elementos de aleación obtenemos distintos grados dentro del mismo grupo aptos para mejorar algunas propiedades y/o usos.

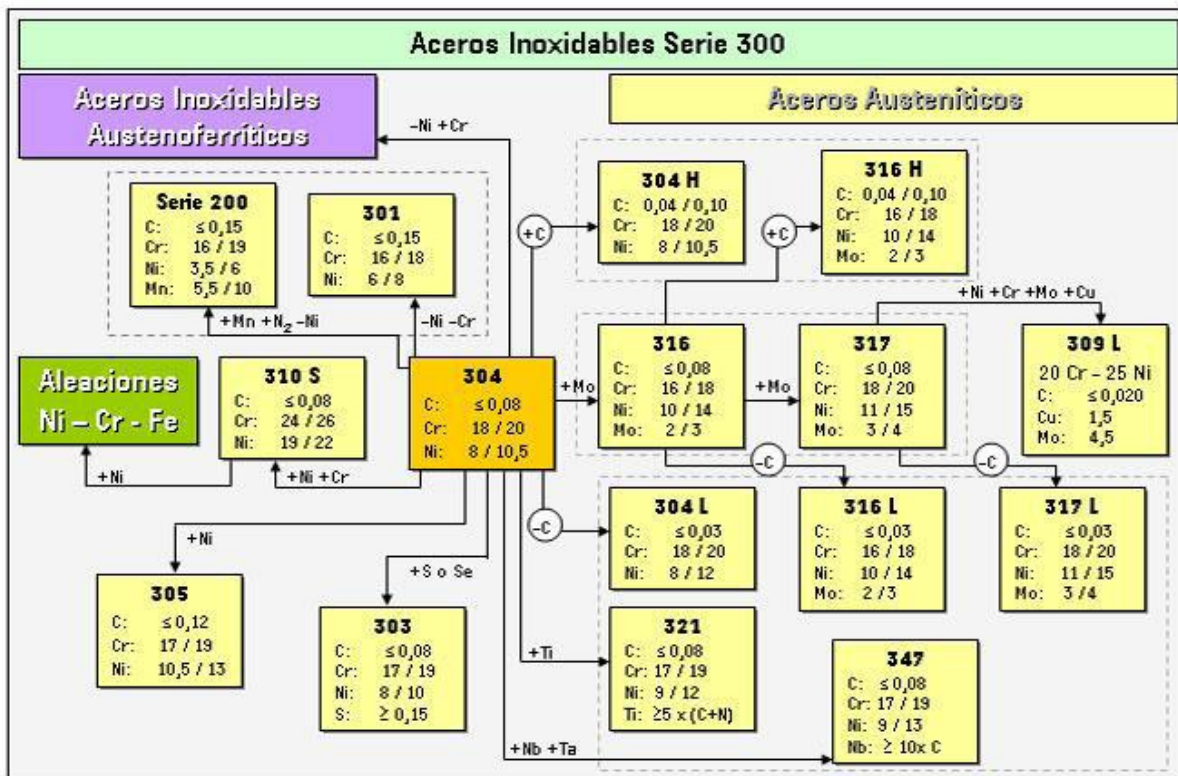


Fig. 13. En este cuadro podemos destacar la serie 200 una alternativa al acero inoxidable clásico AISI 304 que está revolucionando el mercado metalúrgico

Se trata de los Aceros Inoxidables de la Serie 200, con unos contenidos de Níquel de entre el 1% y el 4% combinados en Aleaciones de Cromo al Manganeseo. En un momento como el actual, en el que el precio del Níquel esta elevándose sin previo aviso, los costes de los aceros inoxidables han sufrido unos incrementos muy fuertes que hacen que los costes de materias primas para los fabricantes de estos productos se disparen.

En muchos casos afectan incluso la rentabilidad de los fabricantes de ollas, electrodomésticos, instalaciones industriales, construcción y todos aquellos sectores en los que el acero inoxidable está presente. Es en este momento cuando es necesario encontrar otras opciones que mantengan calidad y prestaciones pero reduciendo los costes. Este es el planteamiento que se presenta con los aceros inoxidables de la serie 200. El Acero Inoxidable es usado por su resistencia a la oxidación, dureza, higiene y belleza de acabado. Los de la serie 200, usados nualmente hasta ahora, mantienen las mismas propiedades que el AISI 304 (o también conocido como 18/8):

- Resistencia a la oxidación en todos los ambientes excepto en zonas marítimas y zonas altamente contaminadas o en contacto con ácidos y similares.
- Idéntica respuesta mecánica: Soldadura, curvado, cizallado, corte láser, etc.
- Idéntico acabado y estética.
- Gran durabilidad. La base técnica de estos nuevos Aceros Inoxidables es la combinación del Níquel (Ni) con el Cromo (Cr) y el Manganeso (Mn). Además de estas aleaciones se corrigen con cobre (Cu) y Nitrógeno (N) para obtener unos materiales con las mejores propiedades. El resultado es un Acero Inoxidable más de un 30% por debajo de los costes actuales.

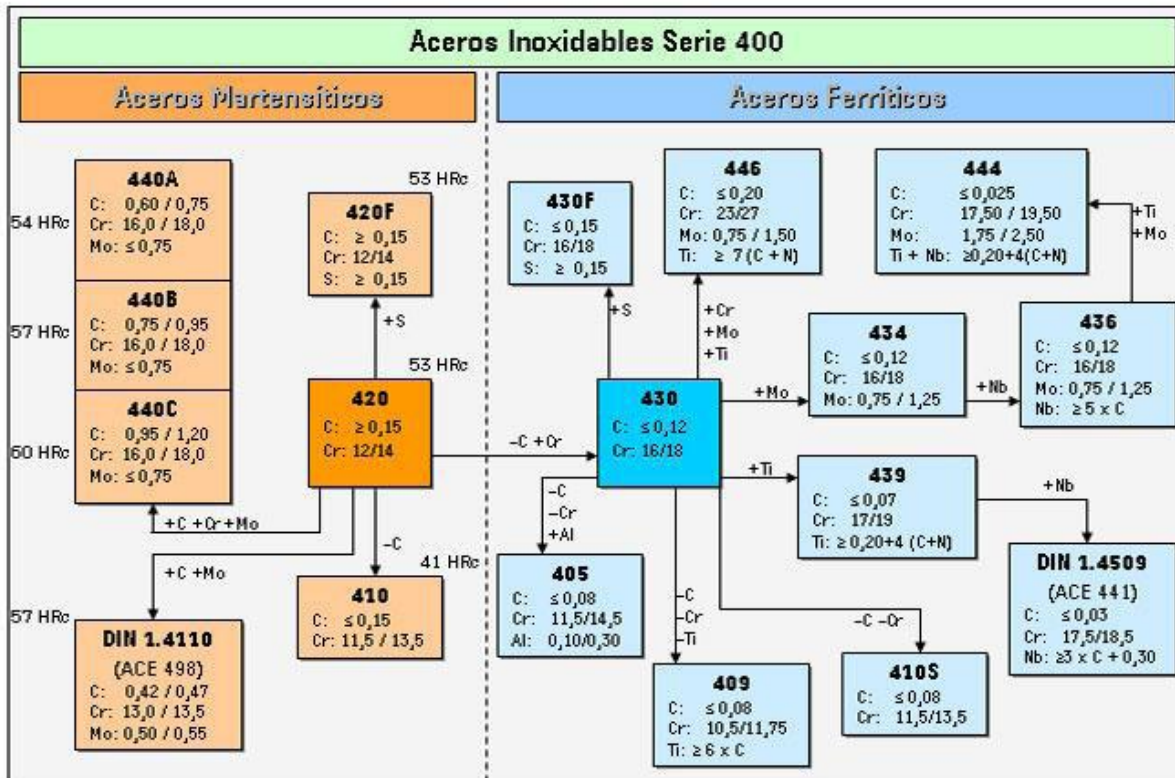


Fig. 14 Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables más utilizados en el mercado

TIPOS DE APLICACIÓN DE LAS DIVERSAS CALIDADES DE ACERO INOXIDABLE

Austeníticos serie 200:

AIISI 201 / J4

Es conocido como sustituto del acero 304, pero con niveles más bajos de níquel. Normalmente utilizado en los aparatos domésticos, ornamentales, escaleras, muebles, estructura automotriz, o en otras aplicaciones de uso estructural (por su dureza) con exposición limitada a la corrosión. El porcentaje de níquel es 1.00 a 4.00 %

Su bajo porcentaje de níquel esta compensado por la contribución mejorada de los 4 elementos que la compone: Carbono, Manganeso, Cobre y Nitrógeno

AISI 202 /JSL AUS

También es conocido como sustituto del acero 304, con un mayor porcentaje de níquel que el 201. Utilizado en los aparatos domésticos, ornamentales, escaleras, ganchos, productos para embutidos extraprofundos, o en otras aplicaciones con exposición limitada a la corrosión. El porcentaje de níquel es 4,00 a 6,00. %

Por su idéntica respuesta mecánica al clásico AISI 304 es el mejor candidato para suplirlo en diversas aplicaciones.

Austeníticos serie 300:

AISI 301

Posee finalidad estructural; correas transportadoras; aparatos domésticos; herraje; diafragmas; ornamentos de automóviles, equipos de transporte, aeronaves; herrajes para postes; fijadores (horquillas, cierres, estuches); conjuntos estructurales de alta resistencia que se requiere en los aviones, automóviles, camiones y carrocerías, vagones de ferrocarril.

AISI 304

Electrodomésticos; finalidad estructural; equipos para la industria química y naval; industria farmacéutica, industria de tejidos y papel; refinería de petróleo; permutadores de calor; válvulas y piezas de tuberías; industria frigorífica; instalaciones criogénicas; almacenes de cerveza; tanques de almacenamiento de cerveza; equipos para perfeccionamiento de harina de maíz; equipos para lácteos; cúpula del reactor de usina atómica; tuberías de vapor; equipos y contenedores de fábricas nucleares; partes para almacenes de algunas bebidas carbonatadas; conductores descendientes del agua pluvial; coches de ferrocarril; canalones.

AISI 304L

Recubrimiento para tolvas de carbón; tanques de pulverización de fertilizantes líquidos; tanques de almacenamiento de pasta de tomate; cuando se necesita una menor proporción de carbono que el tipo 301 para restringir la precipitación de carburos que resultan de la soldadura, especialmente cuando las partes no pueden recibir tratamiento térmico después de soldar; vagones de ferrocarril (cuando existe la necesidad de restringir la precipitación de carburos como resultado de la soldadura, sin tratamiento térmico posterior).

AISI 310

Acero refractario para aplicaciones de alta temperatura, como los calentadores de aire; cajas de recocimiento; estufa de secamiento; escudos para caldera de vapor; hornos de fundición; recubrimientos, transportistas y soportes de hornos, intercambiadores de calor, compuertas de hornos, cilindros de rollos de transportistas, componentes de turbinas, etc; cajas de cementación, equipos para fábrica de tinta, el apoyo de la bóveda de horno; componentes de turbinas de gas, intercambiadores de calor, las incineradoras, los componentes de quemadores de óleo, equipos de las refinerías de petróleo, recuperadores; tubería de sopladores de hollín, placas de horno, chimeneas y compuertas de chimeneas de hornos; conjuntos de diafragma de los bocales para motores turbojet; cubas para cristalización de nitrato; equipos para fábrica de papel.

AISI 316

Piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada; equipo de las industrias química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon y tintas; diversas piezas y componentes utilizados en construcción naval; equipos criogénicos; equipos de procesamiento de película fotográfica; cubas de fermentación; instrumentos quirúrgicos.

AISI 316L

Piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada; equipo de las industrias química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon y tintas; cubas de fermentación; piezas de válvulas; tanques; agitadores y evaporadores, condensadores; piezas expuestas al ambiente marítimo etc; piezas de válvulas; bombas; cuando se necesita una menor proporción de carbono que el tipo 304 para restringir la precipitación de carburos que resultan de la soldadura, especialmente cuando las partes no pueden recibir tratamiento térmico después de soldar; adornos; tanques soldados de almacenamiento de productos químicos y productos orgánicos; bandejas, recubrimiento para hornos de calcinación.

AISI 316Ti

Mejor resistencia a la temperatura y la mecánica que el 316L - equipos para industrias químicas y petroquímicas.

UNIONES ACUÑADAS

FINALIDAD DE LAS UNIONES ACUÑADAS

Las uniones acuñadas se elaboran generalmente para unir piezas de maquinas que deben realizar un movimiento rotatorio, donde se deben transmitir esfuerzos de rotación pequeños hasta esfuerzos mayores; así como para unir piezas de máquinas que deben realizar un movimiento de vaivén, donde se deben transmitir fuerzas axiales, o bien con la finalidad de unir piezas de máquinas, mecanismo o elementos de tal forma que se pueda ajustar entre sí en su posición exacta. Que para el caso particular del desarrollo de este trabajo esta última es el punto de partida.

TIPOS DE CUÑAS

Cuñas encastradas

Estas se encajan en una ranura de eje de ajuste exacto, sobre la cual se deslizará luego el buje. Su aplicación se lleva a cabo cuando no se tiene espacio a disposición para el acuñado y expulsión de la cuña. Las chavetas de disco también pueden cumplir la función de una cuña encastrada, ya que a través de su soporte giratorio en la ranura del eje se pueden ajustar ellas mismas al apriete de una ranura de buje inclinada. Las chavetas de disco empleadas como cuña se denominan también como cuñas de disco.

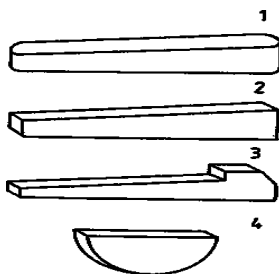


Fig. 15 Cuñas cóncavas y cuñas planas

Son cuerpos extendidos longitudinalmente, de sección rectangular con una superficie posterior inclinada para alturas reducidas de la chaveta, las cuales se emplean solamente para la transmisión de fuerzas de rotación pequeñas.

En la cuña cóncava la superficie vientre está elaborada de acuerdo a la curvatura del área superficial de envoltura del eje de tal forma que se ajuste al eje.

Un buen asentamiento de la cuña plana sobre el eje es posible solamente cuando se ha aplanado el eje en la superficie de asentamiento al ancho de la cuña.

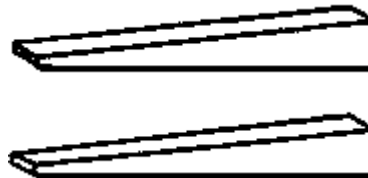


Figura 16 - Cuña cóncava y cuña plana

Cuñas tangenciales

Son dos cuerpos correspondientes de sección rectangular, con una de sus superficies inclinada, la relación de inclinación es de 1: 60 hasta 1: 100.

Las cuñas tangenciales se emplean cuando se deben transmitir fuerzas de rotación muy grandes en los dos sentidos. Estas se encunan unas a otras con las superficies inclinadas en las ranuras de ejes y de bujes elaboradas con inclinación, para ello se instalan siempre dos pares de cuñas con un ángulo de 120° a la periferia del eje, para obtener una unión exacta.

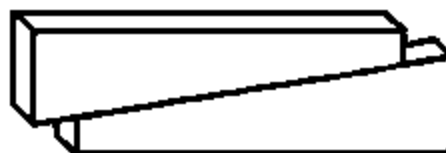


Fig. 17 Cuñas tangenciales

Cuñas transversales

Son cuerpos rectangulares con una o dos superficies inclinadas, cuyos bordes están redondeados.

Estas se emplean para asegurar espigas y bielas, con el fin de transmitir movimientos longitudinales. Las cuñas transversales tienen una relación de inclinación de 1:10 hasta 1:40 y se aseguran frecuentemente contra un autosoltamiento.

Debido a que la elaboración de las ranuras exige un gasto elevado, se emplean solamente cuando se deben transmitir fuerzas axiales grandes.

Para la transmisión de fuerzas pequeñas, los pasadores cónicos pueden tomar esta función, ya que esta unión es más fácil de realizar.

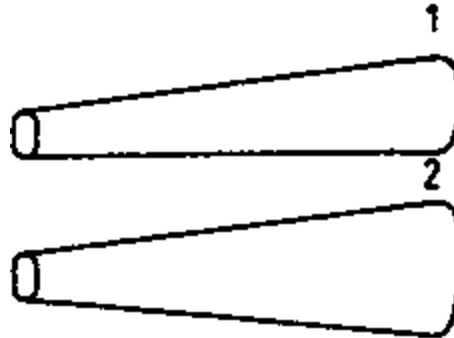


Figura 18 - Cuña transversal a) con una superficie inclinada, b) 2 con dos superficies inclinadas

Cuñas de ajuste

Son cuerpos rectangulares con una o dos superficies inclinadas y una perforación roscada pasante en sentido longitudinal. Las cuñas de ajuste no transmiten ninguna fuerza de rotación sino que se emplean solamente para ajustar el juego en soportes divididos y guías. Su sentido de montaje es transversal al eje de la barra.

Con el fin de alcanzar un gran efecto de ajuste con un recorrido de ajuste pequeño en sentido longitudinal, se elabora la inclinación de las superficies posteriores con la relación 1:5 hasta 1:10.

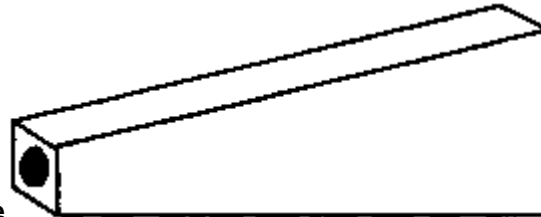


Fig.18 Cuña de ajuste

Superficies en las cuñas

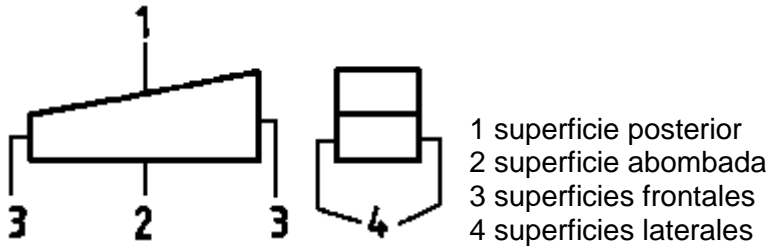


Figura 19. Superficies en las cuñas

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

ASPECTOS PRELIMINARES

Parte fundamental para iniciar con el diseño del proyecto fue el análisis de la estructura de las compuertas de desfogue de la central hidroeléctrica, a continuación se presenta la siguiente figura del plano correspondiente.

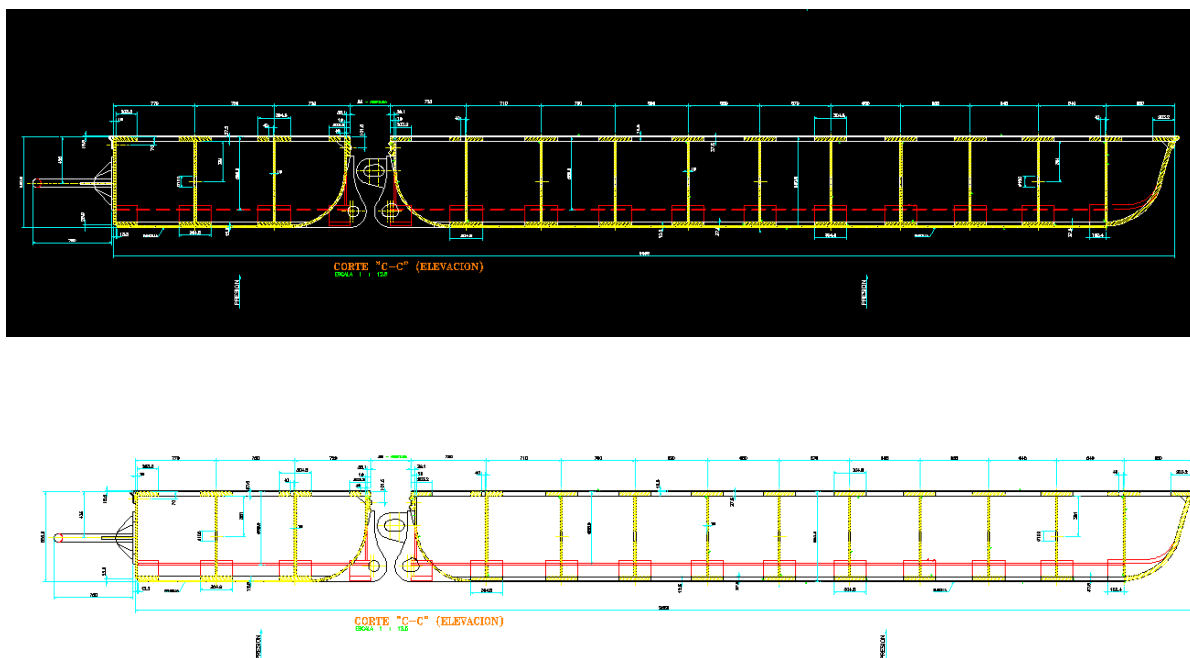


Fig. 20 Vista de la sección transversal de la compuerta deslizante

Como se puede apreciar las compuerta está formada en dos subconjuntos, teniendo las siguientes características:

- Ancho de la sección sellada: 5163,2 mm
- Altura de la sección sellada: 9742,5 mm

Pesos Generales (unitarios)

- Compuerta deslizante panel inferior:..... 27697 kg
- Compuerta rodante panel superior:..... 10306 kg

Para comenzar con los criterios de diseño es importante hacer énfasis en la sección de la compuerta en donde se realizó el análisis. Mostrados en la siguiente figura.

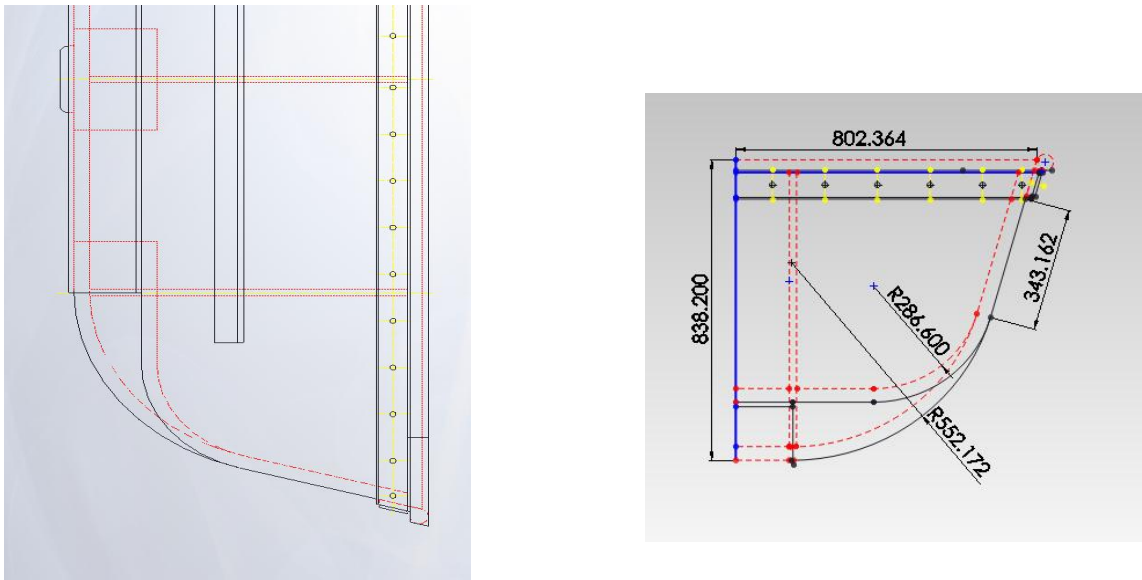


Fig. 21 a) Sección de análisis. b) acotaciones respectivas en mm.

De las imágenes anteriores surgió la idea de contemplar un sistema de cuñas de apoyo de tal manera que al hacer contacto con la superficie inferior de la compuerta se garantice una mejor estanqueidad. Esto debido a la necesidad de mejorar estas características para contribuir a erradicar los tiempos muertos de operación en las tareas de mantenimiento.

Como una optativa de solución se plantea un apoyo basado en una serie de cuñas de ajuste, de tal manera que se cumplan con los requerimientos establecidos en los objetivos de este proyecto.

Partiendo de las propiedades de los materiales más comunes aplicados en la ingeniería el diseño estará constituido por Acero inoxidable de la serie AISI 304 y el acero estructural ASTM A36. Todo esto con base a las condiciones de servicio a la que será sometido este mecanismo.

COMPONENTES DE DISEÑO

A manera descriptiva el diseño en general estará constituido de la siguiente manera:

- Una placa base de Acero Carbono ASTM A-36 $\sigma_f = 250 \text{ Mpa}$, en base a las características del material expuestas en la tabla de propiedades expuesta en los anexos
- Un ángulo estructural de 76.2*9.5*4500 (mm)
- Un ángulo estructural de 76.2*9.5*5274 (mm)
- Una placa de 19*203.2*5274 (recortada según las consideraciones de diseño)
- Una placa de soporte de 25*609.6*5274 (mm)
- Placa de sección 1 de la cuña (recortada según las consideraciones de diseño)
- Placa de sección 2 de la cuña (recortada según las consideraciones de diseño)

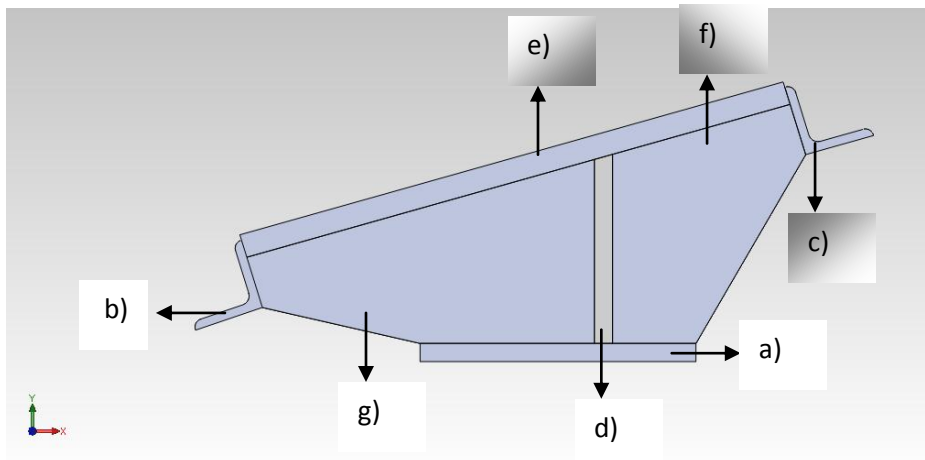


Fig. 22 Sección Transversal de la unión acuada

MEMORIA DE CÁLCULO

Considerando la placa de soporte debemos estrictamente considerar el efecto que realiza la compuerta sobre esta, basándose en los datos característicos proporcionados en la central hidroeléctrica y representados en la tabla 3 se procede a realizar la siguiente memoria de cálculo. Antes de continuar se muestra la siguiente imagen que representa a la unión acuada en contacto con la compuerta de desfogue.

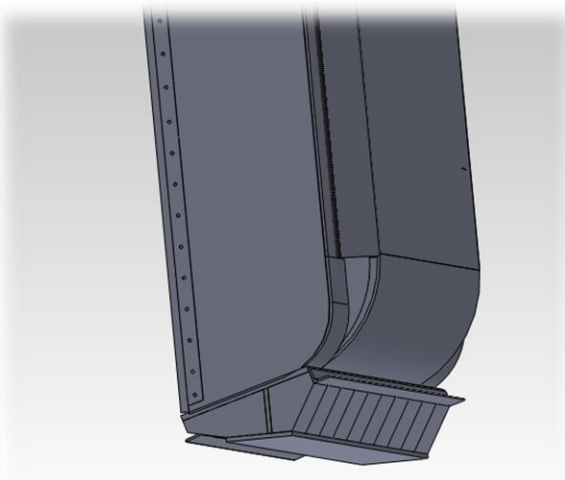


Fig. 23 Ensamblaje Compuerta-Cuñas

Para comenzar el análisis se considera la información proporcionada en central hidroeléctrica, donde de manera representativa se considera a la placa mediante la siguiente figura:



Fig. 24 Representación de la placa donde descansa la compuerta

Los detalles característicos nos arrojan los siguientes datos.

Esfuerzos máximos de la placa

Esfuerzos Máximos de la Placa						
	σ_{1x}	σ_{1y}	σ_{3x}	σ_{3y}	σ_{4x}	σ_{4y}
Kgf/cm ²	307	925	1164	349	555	1850
Mpa	30.1	90.7	114.1	34.2	54.4	181.4

Tabla 3. Tabla indicativa de los esfuerzos a los que es sometida la placa.

Con esta información procedemos a encontrar el factor de seguridad de este diseño n_s .

Para eso consideramos la Teoría del esfuerzo cortante máximo que indica:

$$n_s = \frac{s_y}{\sigma_1 - \sigma_2} \quad (1)$$

Encontrando a los esfuerzos principales de la siguiente manera:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left[\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right]^2 + \tau^2} \quad (2)$$

Donde:

$$\sigma_x = 114.1 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = 34.2 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 27.9 \text{ Mpa}$$

Sustituyendo valores tenemos que:

$$\sigma_{1,2} = \frac{114.1 + 34.2}{2} \pm \sqrt{\left[\frac{114.1 - 34.2}{2}\right]^2 + 27.9^2}$$

$$\sigma_1 = 74.15 + \sqrt{1596 + 778.41}$$

$$\sigma_1 = 122.87 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = 74.15 - \sqrt{1596 + 778.41}$$

$$\sigma_2 = 25.42 \text{ Mpa}$$

De manera que para concluir el factor de seguridad esperado es el siguiente:

$$n_s = \frac{s_y}{\sigma_1 - \sigma_2}$$

Donde:

$s_y = 250 \text{ Mpa}$ Valor tomado de las tablas de propiedades de los materiales mostrados en la hoja de anexos.

$$\sigma_1 = 122.87 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = 25.42 \text{ Mpa}$$

$$n_s = \frac{s_y}{\sigma_1 - \sigma_2}$$

$$n_s = 2.56$$

Utilizando la teoría de fallas analizamos el mismo criterio pero con una opción alternativa, de manera que la ecuación para el factor de seguridad mediante la Teoría de la distorsión nos será de utilidad, la cual expresa:

$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \quad (3)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau^2} \quad (4)$$

El valor de los esfuerzos fueron expuestos anteriormente, la sustitución de estos se muestra a continuación, como resultado nos arroja el esfuerzo de Von Mises.

$$\sigma_e = \sqrt{114.1^2 + 34.2^2 - (114.1)(34.2) + 3(27.9)^2}$$

$$\sigma_e = 112.3 \text{ Mpa}$$

Despejando de la ecuación (3) el factor de seguridad sería el siguiente:

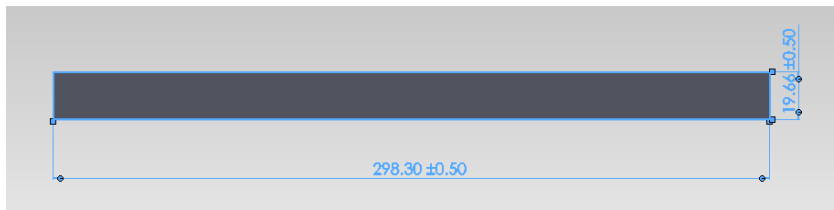
$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$\therefore n_s = \frac{250}{112.3}$$

$$n_s = 2.22$$

Parte importante es considerar a la base de la unión acuñada, para hacer un análisis del comportamiento de las fuerzas y los esfuerzos a la que está sometida, debido a que la base descansa sobre concreto el análisis es el siguiente:

La base de acero tiene las siguientes medidas acotadas en mm.



Con una longitud de 5472 mm

El área para adaptarse al cálculo es:

$$A = (19.66 * 10^{-3}\text{m})(298.30 * 10^{-3}\text{m})$$

$$A = 5.8645 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Mientras que el momento de inercia para la placa se calcula como sigue, considerando al espesor de la placa como la altura h.

$$I = \frac{1}{12}(b)(h^3) \quad (5)$$

$$I = \frac{1}{12}(298.30 * 10^{-3}\text{m})(19.66 * 10^{-3}\text{m})^3$$

$$I = 1.73 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

El modulo de resistencia es obtenido mediante:

$$W_x = \frac{1}{6}(b)(h^2) \quad (6)$$

$$W_x = \frac{1}{6}(298.30 * 10^{-3}\text{m})(19.66 * 10^{-3}\text{m})^2$$

$$W_x = 1.81 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Uno de los aspectos considerados durante todo el análisis es la carga en la pieza fija, para encontrar dicho valor es aplicable la siguiente ecuación:

70

$$F = \frac{H_c L_V}{2} \quad (7)$$

Donde:

H_c = Columna de agua máxima

L_V = Vano de sellado

$$H_c = \delta_a * H \quad (8)$$

δ_a = Densidad adoptada para el agua

H = Columna de agua

$$\delta_a = 1 \frac{kgf}{dm^3} * 9.806 \frac{N}{kgf} * \frac{1000dm^3}{10^6cm^3}$$

$$\delta_a = 9.806E^{-3} N/cm^3$$

De la ecuación (7) la fuerza sobre la placa indicaría el siguiente valor.

$$F = \frac{(3280 \text{ cm}) \left(\frac{9.806 \times 10^{-3} N}{cm^3} \right) (516.3 \text{ cm})}{2}$$

$$F = 8303.05 \frac{N}{cm}$$

La presión en el concreto se calcula de la siguiente manera:

$$P_c = \frac{F}{L_u t} \quad (9)$$

Donde:

L_u = Ancho efectivo en compresion

t = Espesor de la placa

Para conocer el valor que corresponde al ancho efectivo en compresión utilizamos la siguiente ecuación.

$$L_u = (2t)(\tan \alpha) + t \quad (10)$$

El término $\tan \alpha$ indica el ángulo de apertura de disipación de la presión.

$$\tan \alpha = 0.776 \sqrt[3]{\frac{E_a}{E_c}} \quad (11)$$

Donde:

$E_c = \text{Modulo de elasticidad del concreto}$

$E_a = \text{Modulo de Young del acero}$

Procediendo con la secuencia de cálculo el modulo de elasticidad del concreto es:

$$E_c = 6600\sqrt{fck + 3.5} \quad (12)$$

$fck = 24 \text{ Mpa}$ "Resistencia característica del concreto"

$$E_c = 6600\sqrt{24 + 3.5}$$

$$E_c = 34611 \text{ Mpa}$$

Mientras que el modulo de Young del acero es obtenido mediante la tabla de propiedades mecánicas de materiales típicos en ingeniería anexadas al final de este capítulo, el cual indica

$$E_a = 205940 \text{ Mpa}$$

$$\tan \alpha = 0.776 \sqrt[3]{\frac{205940}{34611}}$$

$$\tan \alpha = 1.4061$$

Retomando la ecuación (10) el valor de para el ancho efectivo de compresión es el siguiente.

$$L_u = (2 * 19.10)(1.4061) + 19.10$$

$$\therefore L_u = 72.81 \text{ mm}$$

Aplicando (4) la presión del concreto es la siguiente:

$$P_c = \frac{8303.05 \frac{N}{cm}}{7.281 \text{ cm} * 1.910 \text{ cm}} * \frac{(100 \text{ cm})^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$P_c = 5.97 \text{ Mpa}$$

El momento flector se calcula como sigue:

$$M = \frac{P_c * d * L_f}{2} \quad (13)$$

$$M = \frac{5.97 \text{ Mpa} * 19.10 \times 10^{-3} \text{ m} * (298.30 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{2}$$

$$M = 10.14 \text{ kN} - \text{m}$$

La fuerza cortante se obtiene de la siguiente manera:

$$V = P_c * t * L_f \quad (14)$$

$$V = 5.96 \times 10^6 * 0.0191 * 0.2048$$

$$V = 23.31 \text{ kN}$$

Los datos anteriores dan las referencias principales de diseño, con la ayuda de los ingenieros de mantenimiento y la brigada de buceo de la central hidroeléctrica fue posible hacer un modelo de la unión acuñada. El diseño fue hecho mediante software (solidworks) con el cual se construyeron todas las piezas tanto de la compuerta como de el sistema de cuñas, esto con la finalidad de poder dar una animación de el ensamble en la posición final de las piezas, en la animación se incluye el movimiento de separación de las dos piezas que conforman la compuerta en su totalidad, de manera demostrativa las piezas que conforman la unión acuñada se muestra a continuación:

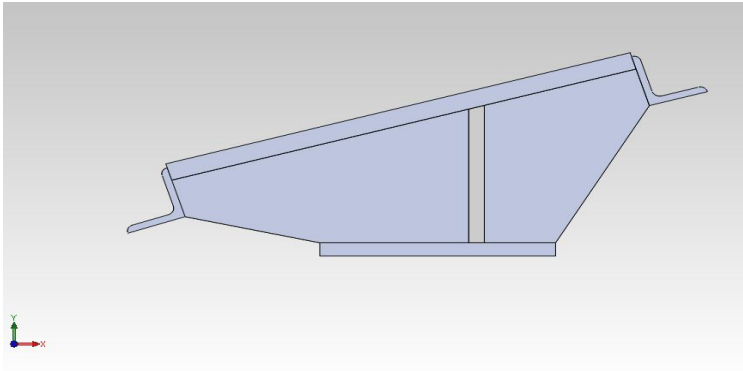


Fig.24 Sección transversal del diseño.

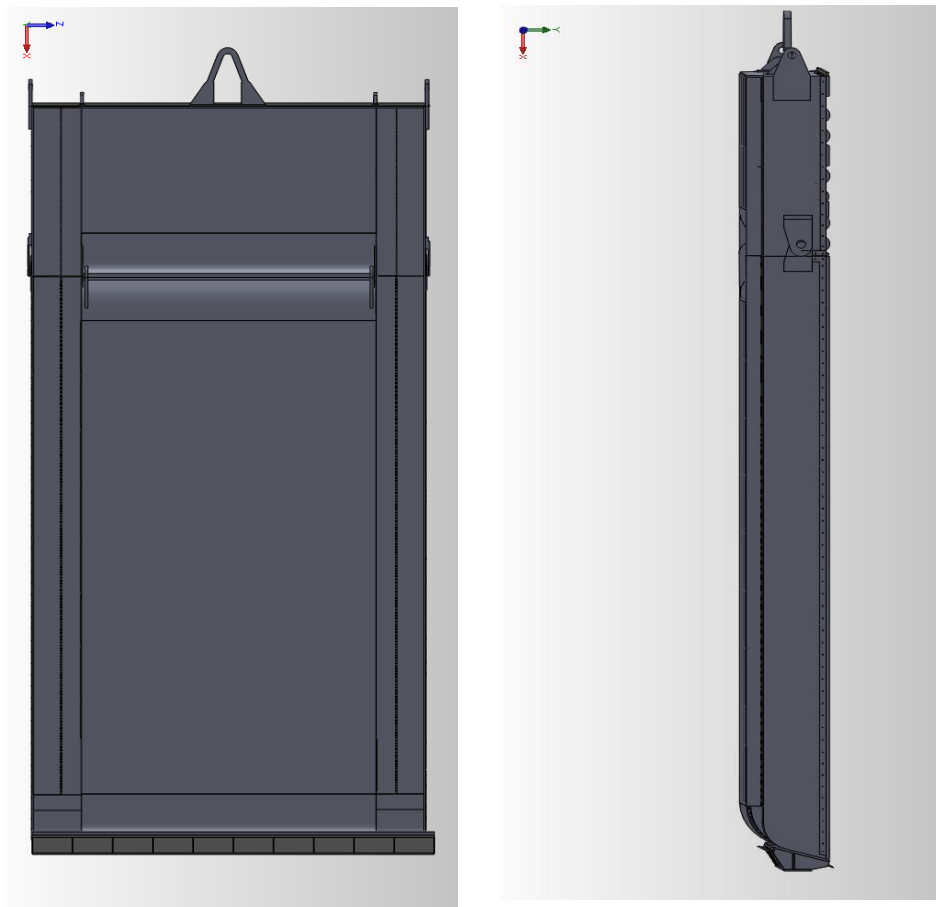


Fig.25 Vista del modelo de la compuerta de desfogeo de la central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

El modelo de la compuerta se muestra en la imagen anterior, esta es un modelo basado en las dimensiones reales de este mecanismo, en la imagen del margen derecho se puede apreciar la unión acuñada realizada mediante este diseño.

74

Para ver la animación completa dirigirse al siguiente enlace.

[Compuerta de Desfoque C.H. Manuel Moreno Torres](#)

Una forma de poder presentar información más detallada es mediante la siguiente imagen que representa el isométrico de la unión acuñada, aquí se consideran los apoyos que estarán en contacto con dicha unión, que a su vez también forman parte del apoyo de la compuerta deslizante.

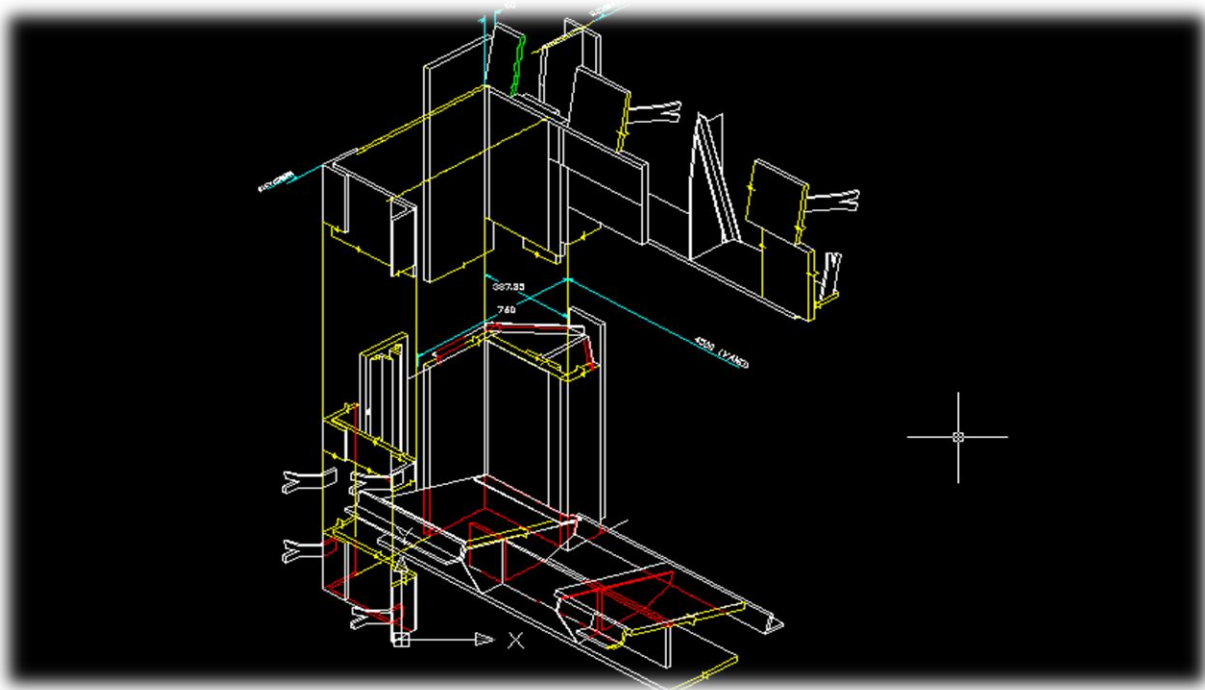


Fig.26 Isométrico de los apoyos de la compuerta deslizante.

Esta vista isométrica define solo una parte recortada del apoyo en su totalidad, las dimensiones correspondientes fueron definidas anteriormente.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se cumplió con el objetivo general, que se consideró al inicio de este estudio, en donde los ingenieros encargados del mantenimiento y operación de esta central hidroeléctrica dieron a conocer que tienen una gran responsabilidad en sus manos y buscan día con día la más alta eficiencia en el mantenimiento y operación, para tratar de mantener todo el sistema en optimas condiciones de funcionamiento. Parte de esa labor fue considerar a la problemática con la que desafortunadamente cuenta la galería de oscilación, debido a que en ocasiones mediante las tareas de mantenimiento parte del fluido retenido comenzaba a filtrarse sobre la compuerta, siendo necesariamente la intervención de la brigada de buceo para hacer las tareas necesarias para asegurar la estanqueidad de estas.

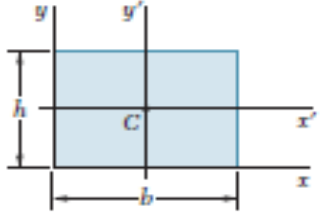
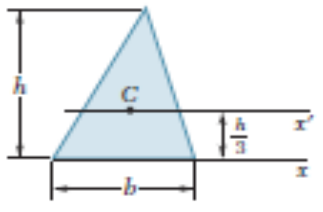
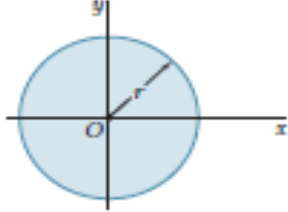
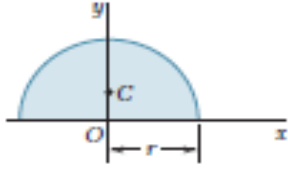
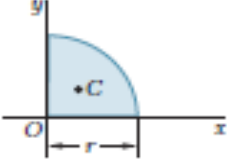
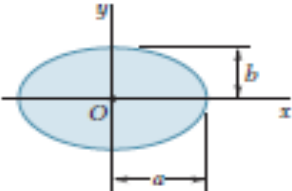
Partiendo de dicha problemática surgió la necesidad de diseñar un mecanismo que contribuyera a evitar el flujo del fluido, así que nació la idea de crear una unión acuñada en la parte inferior de la compuerta. Así pues considera que se cumple con el objetivo que es el de diseñar una serie de cuñas para el sistema de compuertas de las cinco primeras unidades que conforman la primera etapa de esta central hidroeléctrica, esto con la finalidad de disminuir o eliminar las filtraciones de fluido de estos mecanismos reduciendo así tiempos muertos en las tareas de mantenimiento de cada unidad, evitando a su vez paros imprevistos de operación. Aumentando con esto la disponibilidad de las mismas.

ANEXOS

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TIPO DE ACERO	301	302	303 MX	303 Se	304	304L	305	308	309S	310	310S	316	316L	317	317L	321	347	348
ANALISIS - % VALOR QUIMICO MAXIMO EXCEPTO DONDE MUESTRA EL MINIMO																		
Cromo	16-18	17-19	17-19	17-19	16-20	16-20	17-19	19-21	22-24	24-26	24-26	16-18	16-18	18-20	18-20	17-19	17-19	17-19
Niquel	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10.5	8-10	10.5-13	10-12	12-15	19-22	19-22	10-14	10-14	11-15	11-15	9-12	9-13	9-13
Carbon	.15	.15	.15	.15	.08	.03	.12	.08	.20	.08	.25	.08	.03	.08	.03	.08	.08	.08
Manganeso	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Silicio	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Fosforo	.045	.045	.20	.20	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045
Azufre	.030	.030	.15 Min	.060 Min Se	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030
Otros	-	-	-	.15 Min Se	-	-	-	-	-	-	-	2-3	2-3	3-4	3-4	Ti-5XC Min	Cb-Ta 10XC Min	Tr-Cb Co 20 10XC Min
Esfuerzo de fluencia psi (0.2% Compensación)	40,000	40,000	35,000	35,000	35,000	33,000	38,000	35,000	45,000	45,000	45,000	42,000	39,000	40,000	40,000	35,000	40,000	40,000
Esfuerzo último psi	110,000	90,000	90,000	90,000	84,000	81,000	81,000	85,000	85,000	85,000	85,000	84,000	81,000	90,000	90,000	80,000	85,000	85,000
Elongación % 2" (10mm)	60	50	50	50	55	55	55	50	45	45	45	50	50	45	45	45	45	45
Dureza Brinell BHN	170	163	160	160	149	149	149	150	170	170	170	149	149	163	163	160	160	160
Rockwell B	85	85	84	84	80	80	80	80	85	85	85	80	80	85	85	84	85	85
Impacto Izod. Ft. - lbs	110	110	80	80	110	110	110	110	110	80	80	110	110	110	110	110	110	110
Creep - 1% flujo en 10,000 hrs	18,000	17,000	-	-	17,300	17,300	17,200	17,000	15,900	17,500	17,500	24,500	24,500	24,000	24,000	18,000	18,300	19,300
Módulo elasticidad en tensión psi x 10 ⁶	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28
Resistividad eléctrica en microhm a 68° F	72	72	72	72	72	72	72	72	78	78	78	74	74	74	74	72	73	73
Permeabilidad magnética a 200H	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Max. temperatura de operac. - servicio intermitente ° F	1500	1500	1400	1400	1600	1600	1500	1700	1850	1900	1900	1600	1600	1600	1600	1550	1550	1550
Servicio continuo ° F	1650	1650	1650	1650	1700	1700	1650	1800	1950	2050	2050	1700	1700	1700	1700	1650	1650	1650
(In./In.°F x 10) 32 - 212 °F	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	8.3	8.0	8.0	8.9	8.9	8.9	8.9	9.3	9.3	9.3
32 - 1200 ° F	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.0	9.7	9.7	10.1	10.1	10.3	10.3	10.7	10.6	10.6
(B.T.U./Ft.².Hr.°F) y 212 °F	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	8.8	8.0	8.0	8.0	9.4	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	9.3
CONDUCTIVIDAD TERMICA 932 ° F	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	10.8	10.8	10.8	12.4	12.4	12.4	12.4	12.8	12.8	12.8

Momentos de Inercia de áreas compuestas

<p>Rectángulo</p>		$\bar{I}_{x'} = \frac{1}{12}bh^3$ $\bar{I}_{y'} = \frac{1}{12}b^3h$ $I_x = \frac{1}{3}bh^3$ $I_y = \frac{1}{3}b^3h$ $J_C = \frac{1}{12}bh(b^2 + h^2)$
<p>Triángulo</p>		$\bar{I}_{x'} = \frac{1}{36}bh^3$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$
<p>Círculo</p>		$\bar{I}_x = \bar{I}_y = \frac{1}{4}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{2}\pi r^4$
<p>Semicírculo</p>		$I_x = I_y = \frac{1}{8}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{4}\pi r^4$
<p>Cuarto de círculo</p>		$I_x = I_y = \frac{1}{16}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{8}\pi r^4$
<p>Elipse</p>		$\bar{I}_x = \frac{1}{4}ma^3b$ $\bar{I}_y = \frac{1}{4}ma^3b$ $J_O = \frac{1}{4}\pi ab(a^2 + b^2)$

Propiedades mecánicas de materiales típicos en ingeniería.

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso unitario w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Fundición de hierro (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

Especificación de los materiales usados en los elementos principales de las compuertas

COMPONENTE	MATERIAL	NORMA O MARCA COMERCIAL
Marcos, guías, apoyos	Perfiles estructurales (APS, CPS, IPS, IPR)	ASTM A 36 NOM B 254
Marcos, apoyos, orejas de izaje, otros	Placa	ASTM A 36 NOM B 254
Rejillas propiamente dichas	Soleras	ASTM A 36 NOM B 254
Atiesadores, asas de izaje	Fierro redondo liso	ASTM A 529 ASTM A 36
Anclas	Fierro redondo corrugado	ASTM A 242
Separadores	Tubo de acero	ASTM A 53
Guías y barandales	Tubo estructural	ASTM A 53
Uniones y atiesadores	Tuercas	ASTM A 307
Uniones	Tornillos	ASTM A 307
Uniones	Electrodos para soldadura	AWS E60XX
Marcos, guías, apoyos, rejillas (de acero al carbón)	Galvanizado	ASTM A-123 Recubrimiento de zinc por inmersión en caliente
Marcos, guías, apoyos, rejillas (de acero al carbón)	Pintura anticorrosiva	Tipo R P 1 A-132 01 PEMEX
Marcos, guías, rejillas	Pintura de aluminio	Comercial
Rejillas de piso y otras	Rejillas electrosoldadas	IRVING, ENSA, REJIMEX

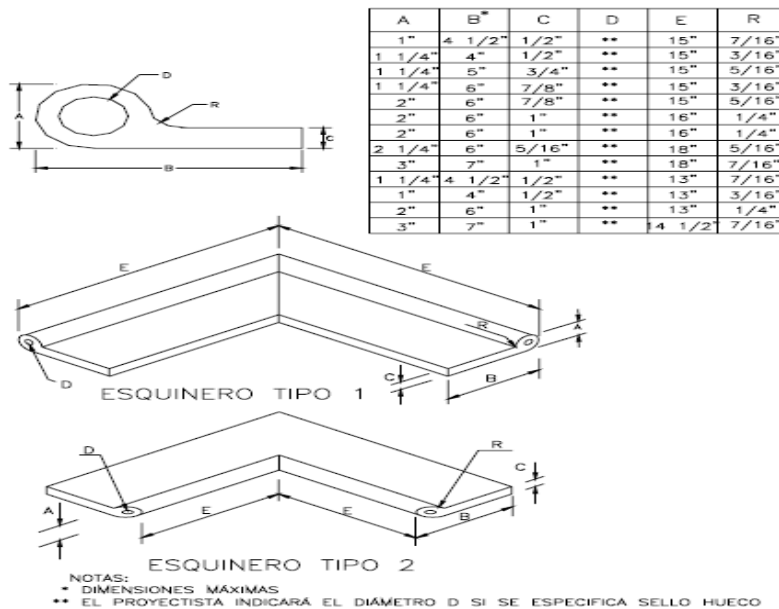




Fig. 27 Compuerta deslizante de desfogio, imagen recabada en campo.



Fig. 28. Grúa de izaje y guía pescadora para las compuertas de desfogue de la C.H. Manuel Moreno Torres.



Fig. 29 Maniobra de izaje de la compuerta lisa deslizante de desfogue.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Guía de Mantenimiento Mecánico en Centrales Hidroeléctricas.
Comisión Federal de Electricidad

Apuntes de Diseño Mecánico.
M.I. Lorenzo Marciano Vázquez.

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
Diseño de Instalaciones Mecánicas
Comisión Nacional del Agua

Apuntes de Residencia Profesional
Comisión Federal de Electricidad
Enero-Junio 2013

<http://www.fundacion-ica.org.mx/pdf/7.%20Hidroel%C3%A9ctricas.pdf>

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoencanales/compuertas/compuertas.html>

<ftp://200-35-105-186.static.telcel.net.ve/Hidromecanica>

<http://www.fundacion-ica.org.mx/pdf/7.%20Hidroel%C3%A9ctricas.pdf>

<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

<http://www.hydrogate.com>

http://www.emrl.byu.edu/jgreen/ce531/tainter_gates.html

http://www.estruagua.com/productos/index.php?option=com_content&view=article&id=90

<http://es.scribd.com/doc/51942512/35/COMPUERTAS>

<http://www.hulemexico.mx/sellos.html>

<http://es.scribd.com/doc/81688365/40/DISENO-DE-LA-COMPUERTA-DE-REGULACION>

<http://www.proemisa.com/catalogos.php?id=6>