

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE MONTAJE DEL MECANISMO DE PROTECCIÓN
DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO PARA LOS
GENERADORES HIDROELÉCTRICOS DE LA PLANTA JURÚN
MARINALÁ DE LA EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DEL INDE**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

FRANCISCO DANIEL HERRERA PALOMO

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

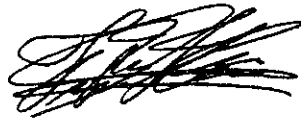
GUATEMALA, AGOSTO DE 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO DE MONTAJE DEL MECANISMO DE PROTECCIÓN DE SOBRE
VELOCIDAD TIPO MECÁNICO PARA LOS GENERADORES
HIDROELÉCTRICOS DE LA PLANTA JURÚN MARINALÁ DE LA EMPRESA
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE**

Tema que fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica en octubre de 1998.



Francisco Daniel Herrera Palomo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal 1º :	Ing. José Francisco Gómez Rivera
Vocal 2º :	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal 3º :	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
Vocal 4º :	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
Vocal 5º :	Br. Mauricio Grajeda Mariscal.
Secretaria:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
Examinador:	Ing. Roberto Enrique Molina Thomae
Examinador:	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
Examinador:	Ing. José Arturo Estrada Martínez
Secretaria:	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, febrero de 1999

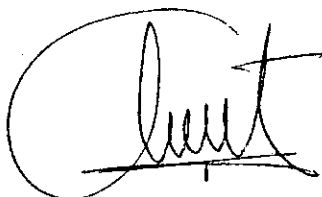
Ing. Juan Merck Cos
Coordinador de EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Pte.

Señor Coordinador:

Adjunto envío a usted el informe final de Ejercicio Profesional Supervisado titulado: **DISEÑO DE MONTAJE DEL MECANISMO DE PROTECCIÓN DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO PARA LOS GENERADORES HIDROELÉCTRICOS DE LA PLANTA JURÚN MARINALÁ DE LA EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE**, que fuera elaborado por el señor estudiante Francisco Daniel Herrera Palomo, con carnet 8811943, el cual he asesorado, considerándolo satisfactorio desde el punto de vista académico y, de acuerdo a los requisitos de la Facultad de Ingeniería, por lo anterior me permito remitírselo para que continúe con los trámites correspondientes para su aprobación.

Por la atención que la misma le merezca, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Angel Otto López Limatuj
Ingeniero Mecánico Electricista

Colegiado No. 3060

(Asesor)

A. Otto López Nimatuj
Ing. Mecánico Electricista
Colegiado No. 3060



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.EPS.G.046.99

Guatemala, 05 de marzo de 1999

Señor
Ing. Juan Merck Cos
Coordinador Unidad de Prácticas de
Ingeniería y E.P.S.
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.-

Señor Coordinador:

Por medio de la presente informo a usted, que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario FRANCISCO DANIEL HERRERA PALOMO, procedí a revisar el Informe Final de la Práctica Supervisada, cuyo título es: "DISEÑO DE MONTAJE DEL MECANISMO DE PROTECCION DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECANICO PARA LOS GENERADORES HIDROELECTRICOS DE LA PLANTA JURUN MARINALA DE LA EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE" el cual lo encuentro satisfactorio.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad a uno de los muchos problemas que padece el país, principalmente en la satisfacción de necesidades del sector productivo y en el proceso de vinculación con el mismo.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Edwin Estuardo Sarceño zepeda
Supervisor-Supervisor de E.P.S.
Area de Ingeniería Mecánica.

EES/eesz
c.c: Archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Area de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado, Diseño de Montaje del Mecanismo de Protección de Sobre Velocidad Tipo Mecánico para los Generadores Hidroeléctricos de la Planta Jurón Marinalá de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE, del estudiante Francisco Daniel Herrera Palomo, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Pedro E. Kubes

Ing. Pedro Enrique Kubes

Coordinador de Area

Guatemala, agosto de 1,999.



REF.EPS.C.051.99

Guatemala, 06 de marzo, de 1999

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor
Ing. Carlos Humberto Pérez
Director de la Escuela de
Ingeniería Mecánica.
Presente.-

Señor Director:

Por medio de la presente, envío a usted el Informe Final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), titulado: "DISEÑO DE MONTAJE DEL MECANISMO DE PROTECCION DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECANICO PARA LOS GENERADORES HIDROELECTRICOS DE LA PLANTA JURUN MARINALA DE LE EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE."

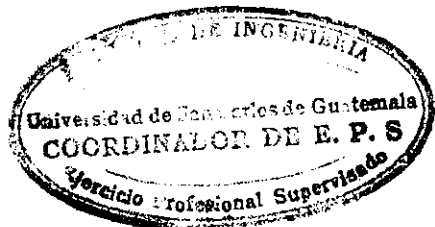
Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario FRANCISCO DANIEL HERRERA PALOMO, quien fue debidamente asesorado por el Ingeniero Angel Otto López Limatuj y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de Ley del referido trabajo, y existiendo la APROBACION del mismo por parte del Asesor y del Supervisor, esta COORDINACION también APRUEBA su contenido, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. JUAN MERCK COS
COORDINADOR DE E.P.S.

JMC/eesz
c.c.: archivo
Adjunto Informe Final



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Térmica, al trabajo de tesis **Diseño de Montaje del Mecanismo de Protección de Sobre Velocidad Tipo Mecánico para los Generadores Hidroeléctricos de la Planta Jurún Marinalá de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE**, del estudiante Francisco Daniel Herrera Palomo, procede a la autorización del mismo.

DIRIGIDA Y ENSEÑADA A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR



Guatemala, agosto de 1,999.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Diseño de Montaje del Mecanismo de Protección de Sobre Velocidad Tipo Mecánico para los Generadores Hidroeléctricos de la Planta Jurún Marinalá de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE**, presentado por el estudiante universitario Francisco Daniel Herrera Salomo, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO



Guatemala, agosto de 1,999.

TESIS QUE DEDICO:

A DIOS.

A MIS PADRES:

**Gerardo Herrera Argüjio (Q.E.P.D)
Leticia Palomo de Herrera**

A MI ESPOSA:

Mirella Marroquín de Herrera

A MIS HIJOS:

Daniela Mirella y Daniel Alfredo

A MIS HERMANOS:

**Lucky, Socorro, Ligia, Magda, Martín, Oscar e
Isabel**

EN ESPECIAL A:

**Clara Luz Herrera de Pineda, Manuel Herrera
(Q.E.P.D)**

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Otto López, por su amistad y asesoría en el presente trabajo de tesis. Al Ing. Florencio Gramajo, Ing. Arturo Juárez, Ing. Raúl Rodríguez, Sr. Ranulfo Herrera e Ing. Hugo Calcia por su valiosa ayuda y recomendaciones para realizar el presente trabajo. Al Ing. Edwin Sarceño por su colaboración para llevar a cabo este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	VII
INTRODUCCIÓN	XIII
HIPÓTESIS	XV
OBJETIVOS	XVI
1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA JURÚN MARINALÁ	1
1.1 Cronología	1
1.2 La era de la modernización del INDE	2
1.3 Descripción del sistema Jurún Marinalá	2
1.3.1 Lago de Amatitlán	4
1.3.2 Río Michatoya	4
1.3.3 Embalse Jurún	5
1.3.4 Túnel de aducción	5
1.3.4.1 Tubería de baja presión	5
1.3.4.2 Chimenea de equilibrio	6
1.3.4.3 Tubería forzada	6
1.3.5 Casa de máquinas	7
1.4 Operación de la planta	9
1.5 Modernización de la Planta Jurún Marinalá	10
1.6 Descripción de los mecanismos de protección	12
1.6.1 Características funcionales	13
1.6.2 Evaluación de la protección	16
1.6.3 Protección de sobre velocidad	17

1.7	Mecanismos de protección de sobre velocidad en funciones en la Planta Jurún Marinalá	18
1.7.1	Funcionamiento de protección de sobre velocidad	18
1.8	Sistema de protección tipo mecánico	20
1.8.1	Funcionamiento	20
2	DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO	
2.1	Descripción	24
2.1.1	Ubicación original del mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico	24
2.1.2	Ubicación futura del mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico	25
2.2	Partes componentes	25
2.2.1	Carcaza	25
2.2.2	Eje	25
2.2.3	Centrífugo	26
2.2.4	Mecanismos de accionamiento	26
2.2.4.1	Manual	26
2.2.4.2	Gatillo	29
2.3	Funcionamiento régimen normal	29
2.4	Funcionamiento del accionador de protección	39
3	IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO	30
3.1	Ventajas de protección mecánica sobre la digital.	30
3.2	Criterios de diseño	33

4	CÁLCULO DE DISEÑO DE MONTAJE	34
4.1	Datos del montaje anterior	34
4.1.1	Dimensiones	34
4.1.2	Posición	34
4.1.3	Ubicación de elementos auxiliares	35
4.1.4	Elementos para el montaje	35
4.1.5	Características del material del eje principal del mecanismo	35
4.2	Cálculo de eje de montaje	36
4.2.1	Fuerzas que actúan en el eje	39
4.2.2	Cálculo de esfuerzo de corte	37
4.2.2.1	Peso soportado por el eje	37
4.2.2.2	Area de máximo esfuerzo	37
4.2.2.3	Deducción de fórmulas	41
4.2.3	Cálculo de esfuerzo de torsión	42
4.2.3.1	Momento de torsión	43
4.2.3.2	Inercia	43
4.2.3.3	Posición de área de máximo esfuerzo	43
4.2.3.4	Deducción de fórmulas	44
4.2.4	Cálculo de esfuerzo de flexión	45
4.2.4.1	Peso	46
4.2.4.2	Ubicación de los centroides de gravedad	46
4.2.4.3	Deducción de fórmulas	46
4.2.5	Combinación de esfuerzos	47
4.2.5.1	Deducción de la fórmula de esfuerzo Combinado	48
4.2.5.2	Código ASME para designación de Ejes de transmisión	49

4.3	Cálculo de vibraciones	51
4.3.1	Datos del montaje anterior	52
4.3.2	Cálculos de frecuencia	52
4.4	Adaptaciones de tubería y cableado	54
5	DISEÑO DE DISCO DE UNIÓN ENTRE EJE DEL MECANISMO DE PROTECCIÓN Y EJE DEL HIDROGENERADOR	56
5.1	Materiales	56
5.2	Maquinado del disco	56
5.3	Unión disco generador	58
5.4	Unión disco eje de mecanismo de protección	58
5.4.1	Soldadura	58
5.4.2	Tratamiento térmico	58
5.4.3	Maquinado del conjunto	59
5.5	Tratamiento superficial	59
6	DISEÑO DE MONTAJE PARA CARCASA DE MECANISMO	61
6.1	Materiales	
6.2	Análisis de cuerpo libre	61
6.3	Diseño de estructura	61
6.4	Tratamiento superficial	62
7	MANTENIMIENTO DE MECANISMO DE PROTECCIÓN	65
7.1	Procedimientos	65
7.2	Mantenimiento preventivo	65
7.2.1	Revisión de estado de superficie	65

7.2.2	Torque de tornillería de montaje y uniones de tubería oleohidráulica	66
7.2.3	Funcionamiento de sistema manual de accionamiento de la protección	66
7.2.4	Lubricación de varillaje de accionamiento manual y automático	66
7.3	Mantenimiento correctivo	66
7.3.1	Torque de tornillería interna	67
7.3.2	Graduación de velocidad de accionamiento automático	67
7.3.3	Verificación del funcionamiento del varillaje de Accionamiento	67
7.4.	Revisiones periódicas	67
	CONCLUSIONES	68
	RECOMENDACIONES	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	BIBLIOGRAFÍA	74
	APENDICE	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

<u>No.</u>	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
1	Mapa del sistema Jurún Marinalá	3
2	Planta Jurún Marinalá	8
3	Unidad hidrogenadora anterior a modernización	21
4	Unidad hidrogenadora posterior a modernización	22
5	Vista frontal del mecanismo centrífugo	27
6	Planta del centrífugo	28
7	Diagrama de cuerpo libre del eje general	38
8	Esfuerzo torsor	38
9	Esfuerzo de corte	38
10	Esfuerzo flexor	38
11	Revolución contra tiempo	39
12	Corte de mecanismo y montaje	40
13	Vista frontal y lateral del disco de montaje	57
14	Disco y eje de montaje, corte transversal	60
14 A	Diagrama de cuerpo libre del mecanismo	62
15	Vista lateral de estructura de soporte	63
16	Planta de estructura de soporte	64

GLOSARIO

Alternador	Máquina que convierte la energía cinética rotacional en energía eléctrica, con corriente alterna.
Borne	Cada uno de los botones de metal en que suelen terminar ciertas máquinas y aparatos eléctricos a los cuales se unen los hilos conductores.
By-pass	Es un conducto paralelo que auxilia al principal para maniobras en que se necesita tener la trayectoria principal fuera de servicio.
Canglón	Cada una de las vasijas de hierro que forman parte de una turbina.
Carcasa	Parte exterior de un motor o máquina, conjunto de piezas fijas que sostienen los órganos activos.
Caudal	Cantidad de agua que mana o corre.
Centrífugo	Que se aleja del centro, mecanismo que aprovecha la fuerza centrífuga para trabajar.
Centrolde	Ubicación intermedio en un cuerpo, en término de peso.

Cilindro	Tubo en el interior del cual se mueve el émbolo de una máquina.
Cinética	En física, parte de la dinámica que trata el movimiento, energía debido al movimiento de la materia.
Cojinete	Pieza móvil de acero, de formas variadas que sirven de apoyo y en la que se introduce y donde gira el muñón de un eje y evita que este se gaste por fricción.
Compuertas	Plancha fuerte encajada en correderas laterales, por las que puede deslizarse verticalmente. Se coloca en los canales, diques, etc., para graduar o cortar el paso del agua.
Corrosión	Desgaste que sufre el material por la acción de partículas que chocan contra él o por contacto con una sustancia que provoca reacción química.
Cota	Cifra que en los planos indica la altura de un punto.
Cuenca	Territorio cuyas aguas afluyen a un mismo río, lago o mar.
Cuña	Pieza de metal que se emplea en ejes para fijar componentes en este y evitar que roten.

Chumacera	Pieza de metal en que descansa y gira cualquier eje de máquina, construida con la finalidad de disminuir la fricción en el eje.
Deflector	Mecanismo que por medio de su geometría cambia la dirección del flujo hidráulico.
Disparo	Detener rápidamente el funcionamiento del hidrogenerador
Dragar	Ahondar y limpiar con draga los puertos de mar, los ríos, etc.
Eje	Pieza generalmente cilíndrica, alrededor de la cual giran uno o más cuerpos que pueden ser solidarios o no con ella.
Elasticidad	Propiedad general de la materia consistente en una resistencia de la misma o los cambios tendiendo a recuperar la forma primitiva cuando cesa la causa que producía la deformación.
Electroatmosférica	Referido a los fenómenos eléctricos que se dan en la atmósfera terrestre
Electroválvula	Válvula hidráulica con accionamiento eléctrico.
Embalse	Gran depósito de agua formado artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa.

Excitatriz	En generación se le llama al generador primario que alimenta las bobinas provocando el campo magnético excitador de flujo eléctrico en el generador principal.
Generador	Es la parte del hidrogenerador que transforma la energía cinética rotacional en energía eléctrica.
Hidroeléctrica	Planta de generación de energía eléctrica que aprovecha la fuerza hidráulica para generar.
Inercia	Cantidad de energía de movimiento de los cuerpos como consecuencia de la energía inicial que la pone en movimiento.
Interpolar	Poner una cosa entre otra volviendo luego a proseguirla, en matemáticas un medio para buscar la solución de una ecuación.
Interruptor	Mecanismo que interrumpe o establece un circuito.
Inyector	Aparato que sirve para inyectar agua en una máquina.
Licitación	Ofrecer precio por una cosa en subasta.
Manija	Mango de ciertos utensilios y herramientas.

Momento Flector	Momento que se da como consecuencia a la fuerza aplicada a una distancia dada en una estructura, provocando flexión en esta.
Monopolio	Concesión otorgada por la autoridad competente a una empresa para que ésta aproveche con carácter exclusivo algunas Industrias o comercio.
Oleohidráulico	Fluido derivado del petróleo.
Oscilógrafo	Medidor de movimiento armónico.
Palanca	Barra rígida que se apoya y puede girar sobre un punto y sirve para transmitir la fuerza.
Pandeo	En un eje es la deformación transversal que se manifiesta como consecuencia de esfuerzos aplicados en el.
Primotor	Es un generador de energía eléctrica que inicia la secuencia de arranque en un gran generador.
Regulador	Dispositivo que controla la secuencia de arranque y la velocidad de rotación en el hidrogenerador.
Resorte	Pieza de metal que puede recobrar su posición si se le separa de ella.

Sensor	Mecanismo que capta cambios físicos del medio donde trabaja.
Soldadura	Procedimiento por medio del cual se unen dos piezas.
Torquímetro	Mecanismo que mide el momento de fuerza con el cual se aprieta un tornillo, perno o tuerca.
Torsión	Acción y efecto de torcer o torcerse una cosa en forma helicoidal.
Transformador	Aparato eléctrico que sirve para cambiar la corriente y el voltaje del flujo de electricidad.
Turbina	Máquina que transforma la energía potencial proveniente de un fluido hidráulico en energía cinética rotacional.
Vibración	Movimiento oscilante de la materia.

INTRODUCCIÓN

Las raíces del diseño mecánico se remontan a los tiempos prehistóricos, con los primeros utensilios hechos por el ser humano, los cuales le dieron ventaja sobre los animales, en las diferentes épocas, el diseño mecánico ha sido uno de los parámetros del progreso de la humanidad, en la actualidad es esencial para el desarrollo de un país.

El presente proyecto es el diseño del montaje del mecanismo de protección para sobre velocidad tipo mecánico para los hidrogeneradores de la planta Jurún Marinalá. Este proyecto es necesario para evitar altos riesgo de daño en los hidrogeneradores de la planta.

El informe del proyecto, en el capítulo 1, describe el sistema hidroeléctrico Jurún Marinalá; historia, funcionamiento y función como parte de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE. También se dan las características de los sistemas de protección.

El capítulo 2 describe el mecanismo de protección y su funcionamiento, el capítulo 3 es el análisis de la necesidad de realizar el proyecto. Se consideró el punto de vista de la importancia del mecanismo, ventajas de la protección mecánica sobre la digital y criterios de diseño del hidrogenerador. El capítulo 4 es el diseño de montaje, inicia con los datos del montaje anterior para tener un marco de referencia, continua con el cálculo del eje de montaje para lo cual se utiliza el método de resistencia del material y el de vibración del eje, en el capítulo 5 se trabaja el diseño de disco de unión entre eje del mecanismo de protección y el eje del hidrogenerador, se describe la elección del material,

soldadura, tratamiento térmico y superficial. El diseño de montaje para la carcasa del mecanismo está en el capítulo 6, contiene el análisis, diseño de estructura y tratamiento superficial. El capítulo 7 trata el mantenimiento correctivo y preventivo del mecanismo, con lo que se finaliza el informe.

Este proyecto puede servir de referencia para futuros proyectos de diseño pues contiene análisis generales como lo podemos observar en los capítulos 3 y 4, la información sobre dispositivos de protección de sobrevelocidad tipo mecánico para hidrogeneradores es completa y una de las pocas existentes en el medio nacional.

HIPOTESIS

Como consecuencia del programa de modernización de la planta Jurún Marinalá, los hidrogenadores quedaron sin protección de sobrevelocidad tipo mecánico, lo que incrementa el riesgo de daño en estos, con el diseño del montaje del mecanismo de protección tipo mecánico se sientan las bases para el montaje, y dejar totalmente protegidas las unidades hidrogenadoras, con lo que se reduce el riesgo de daño en los hidrogenadores.

OBJETIVOS GENERALES

1. Diseñar el montaje del sistema de protección de sobre velocidad tipo mecánico de los hidrogeneradores de la Planta Jurún Marinalá
2. Capacitar al personal de mantenimiento mecánico de la planta Jurún Marinalá, en sistemas de medición e introducción al diagrama de cuerpo libre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un estudio amplio sobre los mecanismos de protección de sobre velocidad tipo mecánico para plantas hidroeléctricas.
2. Capacitar al personal en áreas de diseño mecánico tales como resistencia de los materiales, metalurgia y metalografía, montaje y mantenimiento de equipo, mecánica analítica, proceso de manufactura y puedan realizar diseños de mecanismos basados en cálculos y técnicas de ingeniería mecánica.

1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA JURÚN MARINALÁ

El proyecto hidroeléctrico Jurún Marinalá, surge como una necesidad a la demanda nacional de energía eléctrica. Indispensable para el desarrollo del comercio, la industria y la población en general. Los antecedentes históricos son:

1.1. Cronología

La primera Hidroeléctrica del Estado fue Santa María fundada en 1940, localizado en Quetzaltenango. Antes que formara parte del INDE se le conoció con el nombre de Empresa Hidroeléctrica del Estado.

1962: Río Hondo, se instaló con una capacidad disponible de 2 MVA. Localizada sobre el río del mismo nombre.

1966: Se concluye la construcción de la hidroeléctrica Los Esclavos. Con una Capacidad de 13.5 MVA. Localizada en Cuilapa, Santa Rosa.

1968: La hidroeléctrica el Porvenir entra en funcionamiento con capacidad de 2 MVA. Se localiza en San Pablo, San Marcos.

1965: Se inician en forma los anteproyectos, planos preliminares y documentos para la licitación pública del proyecto hidroeléctrico Jurún Marinalá.

1967: En marzo se firmó el contrato de obra civil, y en septiembre del mismo año, el de equipo electromecánico, estando el proyecto en pleno proceso de construcción.

1970: El 12 de febrero es inaugurada la hidroeléctrica Jurún Marinalá con Capacidad de 60 MVA. Localizada en la aldea Agua Blanca del Departamento de Escuintla.

1.2 La Era de la Modernización del INDE

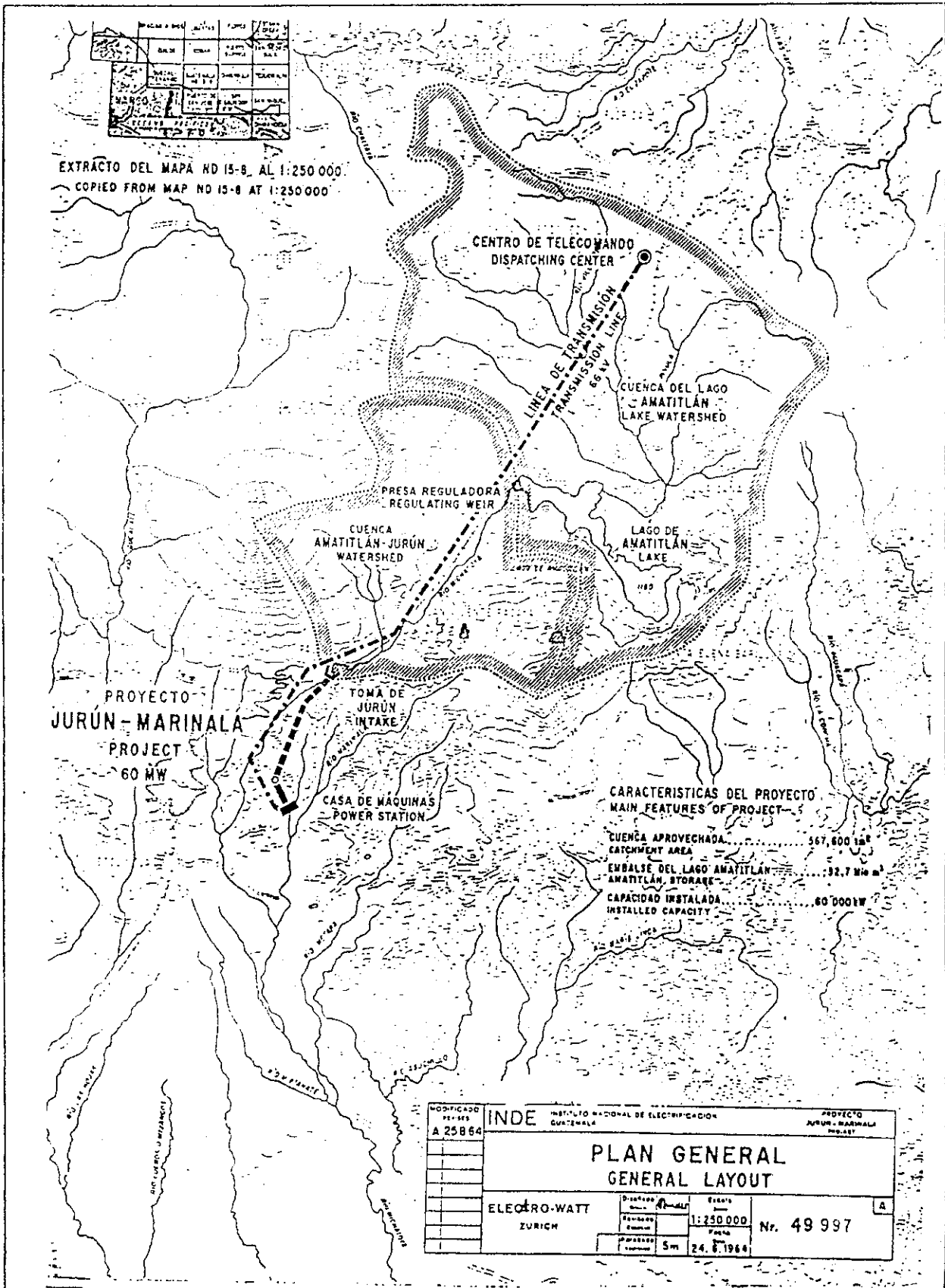
La era de la Modernización del Instituto Nacional de Electrificación -INDE- inicia cuando es aprobada por el pleno del Congreso de la República la nueva ley del INDE decreto 64-94, donde se le brinda un carácter más empresarial y de administración moderna.

Uno de los aspectos sobresalientes de ésta es que cualquier particular que quiera generar energía eléctrica lo puede realizar sin que exista ningún obstáculo, por parte del INDE, quien automáticamente deja de ser un monopolio para convertirse en una entidad competitiva; sin embargo, dicho decreto se refuerza a través de los pilares que brinda la Ley General de Electricidad donde se explica que ninguna empresa puede ser generadora y distribuidora de energía eléctrica al mismo tiempo, por lo que en noviembre de 1997 se consolida la corporación INDE en tres empresas: generación, transmisión y distribución.

Con esta división surge un INDE completamente competitivo, ya que en el campo de la generación, la inversión privada cada día es más grande y fuerte, por lo que se hizo necesario implementar métodos técnicos y administrativos acordes a brindar un mejor producto.

1.3 Descripción del sistema Jurún Marinalá.

Este inicia en la cuenca del lago de Amatitlán continua con el río Michatoya, embalse Jurún, túnel de aducción y casa de máquinas. Estos se ubican en los departamentos de Guatemala y Escuintla.



MODIFICADO POR SES A 25864	INDE INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICACION GUATEMALA	PROYECTO JURUN - MARINALA IND-487								
PLAN GENERAL GENERAL LAYOUT										
ELECTRO-WATT ZURICH	<table border="1"> <tr> <td>Diseno</td> <td>Escala</td> </tr> <tr> <td>Planos</td> <td>1:250 000</td> </tr> <tr> <td>Parámetros</td> <td>Fecha</td> </tr> <tr> <td>5 m</td> <td>24. 8. 1964</td> </tr> </table>	Diseno	Escala	Planos	1:250 000	Parámetros	Fecha	5 m	24. 8. 1964	Nr. 49 997
Diseno	Escala									
Planos	1:250 000									
Parámetros	Fecha									
5 m	24. 8. 1964									

FIGURA 1	ESCALA 1:250,000
CUENCA DE JURUN MARINALA	FRANCISCO DANIEL HERRERA

1.3.1. Lago de Amatitlán

El agua que hace funcionar el sistema es captada en la cuenca hidrográfica del lago de Amatitlán y del río Michatoya, desde las divisorias aguas de las cadenas montañosas que rodean a la Ciudad de Guatemala del lado sur, como se puede apreciar en el figura 1 de la cuenca.

El volumen útil máximo del lago de Amatitlán que es el embalse de regulación anual del sistema es de 32.7 millones de metros cúbicos.

1.3.2. Río Michatoya

El caudal del río es regulado en su origen por una presa de gravedad Localizada al extremo sur de la playa principal del lago de Amatitlán. Esta construida con hormigón armado para almacenar agua hasta la cota (altura) 1,189.40 metros sobre el nivel del mar. Equipada con dos compuertas radiales con tableros abatibles de: 5.00 y 4.45 metros de largo y alto respectivamente, con accionamiento oleohidráulico. En el cauce se realizaron obras de dragado, rectificación del río Michatoya, profundización de los cimientos y muros del puente La Gloria, como consecuencia del dragado. El Río Michatoya recorre el valle conocido como el cañón de Palín, con desarrollo aproximado de 12 Km.

1.3.3. Embalse Jurún

El río es represado en Jurún ubicado a tres kilómetros de Palín al sur sobre la carretera al Pacífico. La presa desviadora tiene 70, 4 y 22.50 metros de longitud, ancho y base de corona respectivamente, con un volumen de excavación de 46,286.27 metros cúbicos y 20,000 metros cúbicos de concreto. El agua pasa bajo una viga flotante que purga la entrada al vertedero de desechos flotantes, y una reja que captura los desechos sumergidos. A continuación se encuentra un canal de aducción de 63, 4.10 y 2.70 metros de longitud, ancho y alto respectivamente que termina en una compuerta de entrada a los dos desarenadores donde el agua pierde sólidos en suspensión (arena en su mayoría) por medio de decantación, estos tienen 68, 7.95 y 2.40 metros de longitud, ancho y alto respectivamente. Poseen compuertas de purga para su limpieza. Continúa el trayecto con el embalse que es de regulación diaria con capacidad de 114,000.00 metros cúbicos, este embalse tiene en el fondo una compuerta de purga, a continuación el agua se encausa al túnel de aducción.

1.3.4. Túnel de aducción

Es una tubería especialmente diseñada para conducir el caudal del embalse a la planta generadora esta compuesto de los siguientes tramos.

1.3.4.1. Tubería de baja presión

Inicia con una compuerta con diámetro de 2.10 m., continúa con tubería a baja presión de 4,035 metros de longitud que atraviesa la loma sur de Jurún y llega al punto alto de Medio Monte. El túnel está dividido en varias secciones que se determinaron según el tipo de terreno que atraviesa.

El túnel se inicia con un diámetro de 2.10 metros en una longitud de 1,184 metros revestido de concreto; a continuación 2,515 metros revestidos de concreto y una chapa de acero de siete milímetros de espesor. Ambos tramos con pendientes de 6% para finalizar con un diámetro de 1.65 metros, luego hay un tramo de 336 metros de longitud y 6% de pendiente, revestidos de concreto y una chapa de acero de 10 milímetros de espesor.

1.3.4.2. Chimenea de equilibrio

Se encuentra al final de la tubería de baja presión, su función es evitar las ondas de alta presión generadas por golpe de ariete causado por la apertura o cierre rápido de las válvulas de las unidades hidrogeneradoras, esta comprende; una cámara inferior de 2.50 y 130 metros de diámetro y largo respectivamente. Un pozo vertical de 63 metros de altura y una cámara superior circular, desde la chimenea sigue un tramo de 352 metros de túnel de 1.65 metros de diámetro y de 7% de pendiente, hasta la salida a la superficie.

1.3.4.3. Tubería forzada

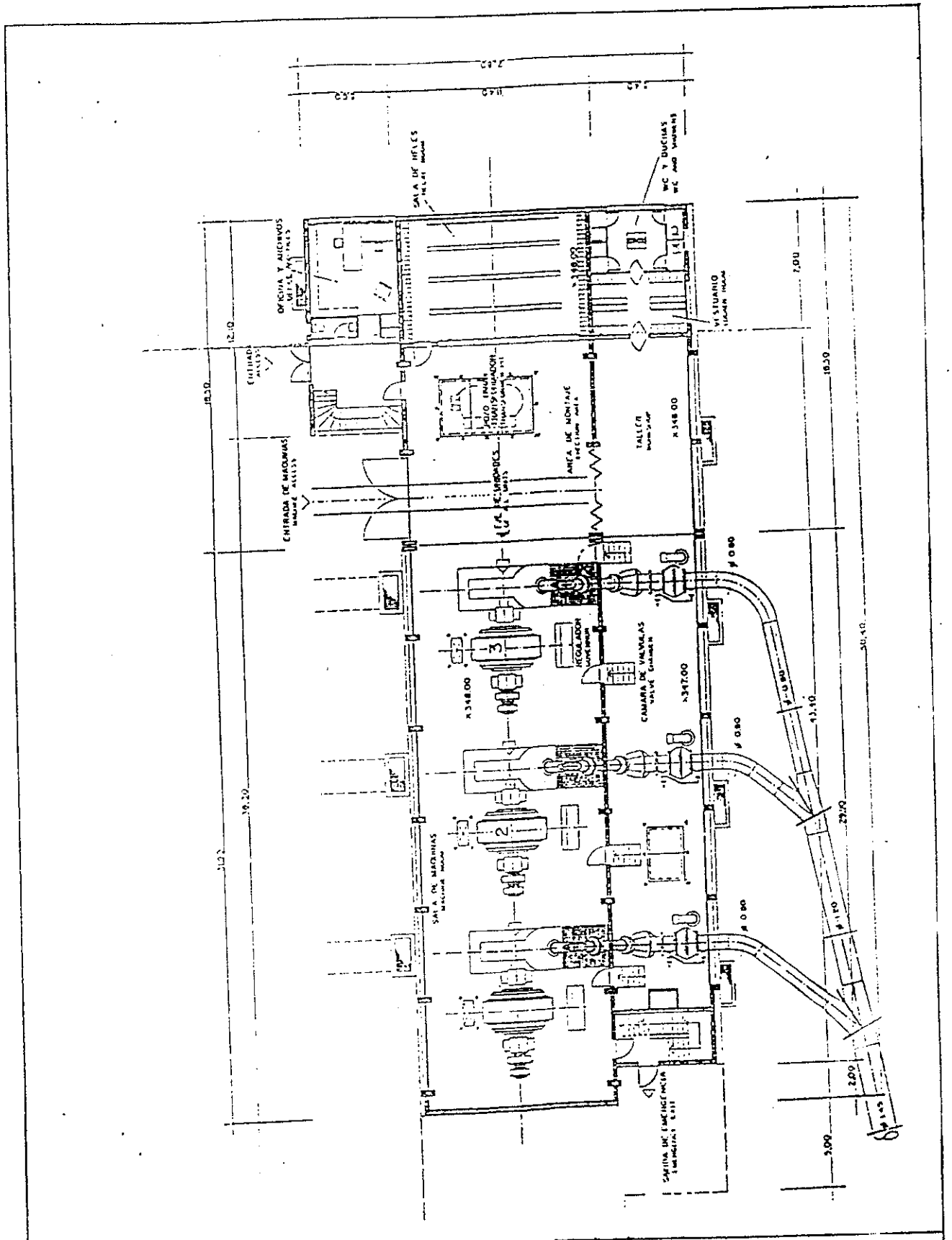
A la salida del túnel, principia la tubería forzada, esta tubería es la que tiene mayor pendiente por lo que soporta la gran presión que al final de ella es de 660 metros columna de agua. Inicia en la que se llamó "Ventana Pajal". Tiene 2,519 metros de largo y su diámetro se inicia con 1.65 metros y concluye a la entrada de los hidrogeneradores con 1.45 metros, está diseñada para un caudal máximo de 12 metros cúbicos por segundo. La tubería fue totalmente soldada de la cual 1,302 metros están revestidos de concreto y los 1,217 restantes van al aire libre sobre apoyos basculante empotrados en cimientos de concreto armado. Al nivel de las turbinas la tubería se divide en tres ramales, los espesores de la tubería varían desde 10 milímetros a 25 milímetros al final.

1.3.5. Casa de máquinas

Es un edificio que alberga: hidrogeneradores, paneles de control y mando, válvulas esféricas, sistema de regulación, sistema de aire comprimido, sistema de enfriamiento, equipo de protección, generador diesel de emergencia, grúas tipo puente, talleres de mantenimiento, bodegas de repuestos, sala de mando y oficinas de jefatura. Está diseñado con estructura de concreto reforzado, con paredes de ladrillo y techo de losa de concreto impermeabilizada, cimentada sobre una losa de concreto, se observa en la figura 1 y 2, se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla al Sur oeste de la Cabecera departamental sus coordenadas son Latitud: 14° 24' 45" norte, Longitud: 90° 43' 25" oeste, en la margen derecha del río Pajal, dos kilómetros arriba de la confluencia con el río Marinalá. La vía de acceso es la carretera al ingenio El Salto.

Los tres ramales de la tubería forzada en su parte final ingresan en la casa de máquinas, cada uno de los ramales de la tubería a su ingreso acopla con una válvula tipo esférica que soporta una presión máxima de 112.00 kilogramos por centímetro cuadrado y tiene un diámetro de 1.25 metros. Las tres válvulas están ubicadas en un recinto especial de la casa de máquinas llamado "cámara de válvulas esféricas". Después de la válvula la tubería se divide en dos para alojar los dos inyectores que son dos conos uno dentro del otro, concéntricos. Su función es graduar el caudal que pasa entre los dos variando la distancia entre ellos.

Antes de los inyectores, el agua tiene una gran presión que es la manifestación de energía potencial que al pasar por estos se convierte en energía cinética.



JURUN MARINALA 15/2/99	FIG. 2	ESCALA 1:250
CASA DE MAQUINAS JURUN MARINALA	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.	

Los inyectores regulan y dirigen el agua a las turbinas que esencialmente son rodetes con una especie de guacales dobles en su periferia llamados cangilones que son los que captan el agua y convierten la energía cinética lineal en energía cinética rotacional, la turbina que en este caso es tipo pelton de eje horizontal esta diseñada para una caída de 660 metros, capacidad 20,600 kilovatios, velocidad 600 vueltas por minuto y caudal de 3.88 metros cúbicos por segundo.

La turbina tiene un eje común con el generador que transforma la energía cinética rotacional en energía eléctrica. El generador es tipo sincrónico de tres fases con frecuencia de 60 hertz, capacidad 25,000 kilovoltamperios, voltaje generado de 13,800 Voltios y velocidad de 600 revoluciones por minuto.

El conjunto turbina generador es lo que se llama unidades hidrogeneradoras que en este caso son tres de 20,000 KVA, cada una, para una generación instalada de 60,000 KVA, las cuales se encuentran alineadas sobre un eje imaginario con un espacio lateral entre cada una de ellas, necesario para los trabajos de mantenimiento.

El agua después de pasar por la turbina se dirige al río Pajal el cual está profundizado y protegido en sus riberas para dar paso a los caudales de desfogue.

1.4 Operación de la planta

La planta hidroeléctrica de Jurún Marinalá ha sido proyectada como una central de agua fluyente a alta presión, con posibilidades de acumulación anual de alto valor. Su producción anual media de energía es de 180 millones de KWH.

Se compone de los siguientes periodos de producción, que son característicos para la planta:

- Operación de 24 horas de la planta a plena carga, durante el periodo de la estación de lluvias, en que el caudal del río Michatoya en Jurún es continuamente mayor de 12 metros cúbicos por segundo.
- Operación de 24 horas de la planta a carga parcial durante el periodo de la estación de lluvias, en que el caudal medio diario del río Michatoya en Jurún es menor de 12 metros cúbicos por segundo. Para lo cual se puede efectuar, sin embargo, una regulación diaria con el embalse regulador de Jurún.
- Operación de 24 horas de la planta a carga parcial durante la estación seca, en la que hay que utilizar diariamente una parte del volumen de agua acumulado en el lago de Amatitlán, para poder generar cotidianamente la energía requerida.

En todo caso, la mayor parte del agua requerida para la operación de la Central, se obtiene del lago de Amatitlán, del cual es utilizado el volumen de agua acumulado entre las cotas 1187.35 msnm y 1189.40 msnm.

1.5 Modernización de la planta Jurún Marinalá

La planta Jurún Marinalá sufrió una inundación hace tres años por lo que se realizaron trabajos de emergencia cuyo fin fue poner en marcha las unidades generadoras. Posteriormente, se implementó un programa de modernización de la planta, dentro de esta modernización se colocaron nuevos y modernos sistemas de excitación de estado sólido y se removieron los sistemas de tecnología obsoleta tipo dinámico.

En el extremo de la excitatriz removida estaba montado el mecanismo de protección de sobre velocidad mecánico de las unidades hidrogenadoras, al desmontar las excitatrices quedaron desacoplados los mecanismos de protección de las unidades por lo que es indispensable rediseñar y acoplar el mecanismo de accionamiento por sobre velocidad mecánico para proteger las unidades hidrogenadoras; y así, evitar graves consecuencias que repercutirían en el ámbito nacional. Esta protección de sobre velocidad actúa cuando la velocidad de rotación de los hidrogenadores es superior a la velocidad de funcionamiento, accionando un mecanismo que cierra la alimentación de agua a la turbina con lo que se reduce la velocidad de rotación del hidrogenador. Esta sobre velocidad se produce como consecuencia de aperturas de líneas de conducción, por descargas electroatmosféricas ó fallas en otras plantas generadoras.

La sobre velocidad en la unidad generadora provoca deterioro y destrucción del hidrogenador y turbina lo que ameritaría una reparación mayor, con inversión de varios millones de quetzales por pérdida de generación de energía eléctrica, mano de obra, compra de materiales y repuestos.

El mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico cuenta con una palanca para accionamiento manual el cual es el último recurso para bajar la velocidad de rotación del hidrogenador, en el caso de que fallara la protección digital de sobre velocidad y el accionamiento automático de la protección de sobre velocidad tipo mecánico.

Como se explicó, el mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico tiene accionamiento manual y automático por lo cual es imprescindible para el correcto funcionamiento de las unidades hidrogenadoras de la planta Jurún Marinalá.

En el presente trabajo se describe el diseño de montaje del mecanismo de sobre velocidad mecánico de la Planta Jurún Marinalá, llevando a cabo estudios de ingeniería mecánica, y aprovechando el mismo para enseñar al personal de la planta. El diseño de mecanismos, que eleven el nivel de eficiencia en los diseños futuros.

1.6 Descripción de los mecanismos de protección

La función de la protección de un generador es el retiro rápido del servicio de cualquier elemento, cuando éste sufre un cortocircuito o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar daño o interfiera de otra manera con el funcionamiento eficaz del sistema nacional interconectado del cual forma parte.

El equipo de protección está ayudado, en esta tarea, por interruptores que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección se los manda.

Los interruptores están localizados de tal manera que cada generador, transformador, barra colectora, línea de transmisión, etc., pueda desconectarse por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la corriente máxima de cortocircuito semejante e interrumpir entonces esta corriente; deberán soportar también el cierre de un cortocircuito semejante e interrumpirlo de acuerdo con ciertas normas prescritas.

Aunque la función principal de la protección es reducir los efectos de los cortocircuitos, surgen otras condiciones anormales de funcionamiento que también necesitan esta protección. Esto es más evidente cuando se trata de generadores.

Una función secundaria de la protección es indicar el sitio y el tipo de la falla. Dichos datos no sólo ayudan en la reparación oportuna sino que también, por comparación con las observaciones humanas y con los registros de oscilógrafos automáticos, proporcionan medios para el análisis de la eficacia de la prevención de la falla y las características de disminución de estas.

1.6.1. Características funcionales

Sensibilidad, selectividad y velocidad son términos comúnmente utilizados para describir las características funcionales de cualquier equipo de protección. Cualquier equipo de protección debe ser suficientemente sensible para que funcione en forma segura cuando sea necesario, con la condición real de que produzca la tendencia de funcionamiento mínimo. Debe ser capaz de seleccionar entre aquellas condiciones en las que se requiere un funcionamiento rápido y aquellas en las que no debe funcionar, o se requiere funcionamiento de acción retardada. Y debe funcionar a la velocidad requerida. Debe conocerse qué tanto llena cualquier equipo de protección cada uno de estos requisitos en cada aplicación.

El objeto principal de la protección es desconectar un elemento defectuoso de un sistema lo más rápido posible. La sensibilidad y la selectividad son esenciales para asegurar que sean disparados los interruptores apropiados, pero la velocidad es lo que cuenta. Los beneficios que van a ganarse con la velocidad se considerarán más adelante.

1.6.1.1. Confiabilidad

Un requisito básico es que el equipo de protección debe ser digno de confianza. Cuando la protección no funciona adecuadamente, las características de reducción implicadas son muy inefectivas. Por lo tanto, es esencial que el equipo de protección sea totalmente confiable y que su aplicación, instalación y mantenimiento aseguren que se aprovecharán al máximo.

La confiabilidad inherente es una cuestión de diseño basada en la larga experiencia, y es un tema muy extenso y detallado como para tratarlo a fondo en este trabajo. Otros temas que son importantes, simplicidad y robustez contribuyen a la confiabilidad, pero no son ellas mismas la solución completa. La mano de obra es un factor muy importante que debe tomarse en cuenta.

La aplicación adecuada del equipo de protección involucra una selección adecuada no sólo del equipo sino también de los aparatos asociados. Por ejemplo, la carencia de fuentes apropiadas de corriente y tensión para alimentar los relevadores puede comprometer, si no exponer, la protección.

En contraste con la mayoría de los otros elementos de un generador hidroeléctrico, la protección se mantiene inactiva la mayor parte del tiempo. Algunos tipos de equipos de protección, pueden tener que funcionar sólo una vez en varios años. Esta falta de uso frecuente de las protecciones y su equipo asociado debe compensarse en otras formas para estar seguro de que el equipo de protección trabajará cuando venga su turno.

Muchas empresas generadores de energía eléctrica proporcionan su prueba y mantenimiento personal con un manual que la gente experimentada en la organización ha preparado y que es puesto al día a medida que se adquieren los nuevos tipos de protecciones. Un manual semejante especifica el procedimiento mínimo de prueba y mantenimiento que la experiencia ha mostrado ser el deseado. El manual está preparado en parte por las publicaciones de los fabricantes y en parte por la experiencia de las empresas.

Como una consecuencia de las técnicas normalizadas, puede compararse los resultados de las pruebas periódicas para detectar cambios o deterioro en las protecciones y sus dispositivos asociados. Los probadores son alentados para hacer otras pruebas a medida que ellos se adaptan al hacer las pruebas requeridas por el manual. Si se proyecta una mejor técnica de prueba, ésta se incorpora al manual.

Algunas organizaciones incluyen información sobre el propósito de las protecciones, para dar a su gente mejor apreciación de la importancia de su trabajo. Una actividad semejante es recomendable.

A menos que una persona esté completamente familiarizada con la prueba y mantenimiento de la protección puede hacer más mal que bien, y haría mejor si dejara al equipo solo. La mejor seguridad de que los equipos de protección están aplicados y ajustados de un modo adecuado es un registro del funcionamiento correcto a través de un periodo suficientemente largo, para incluir las diversas condiciones de funcionamiento que pueden existir. Esto es, asegurando no sólo cuando un equipo de protección particular dispara los interruptores apropiados cuando debería hacerlo para una falla dada, sino también cuando otros equipos de protección se abstienen del disparo.

1.6.2. Evaluación de la protección

Aunque un sistema de generación hidroeléctrica no podría funcionar sin la protección, esto no la hace apreciable. Como en toda buena ingeniería, la economía juega un papel muy importante. Aunque el ingeniero de protección puede justificar por lo común desembolsos para la protección sobre la base de una práctica normalizada, las circunstancias pueden alterar dichos conceptos, y a menudo viene a ser necesario evaluar los beneficios que van a lograrse. Esta no es una cuestión de si la protección puede justificarse, sino hasta dónde podría uno invertir con la mejor protección disponible.

Como todas las otras partes de un sistema de potencia, la protección se evaluaría sobre la base de su contribución al mejor servicio económicamente posible a los consumidores. La contribución de la protección es ayudar al resto del sistema nacional interconectado a funcionar con la mayor eficiencia y efectividad posible frente a la falla.

Disminuyendo el daño cuando ocurren las fallas, la protección reduce:

- El costo de la reparación del daño.
- La probabilidad de que la falla pueda extenderse e involucrar otro equipo.
- El tiempo que el equipo está fuera de servicio.
- La pérdida en ingreso y la tirantez de las relaciones públicas mientras el equipo está fuera de servicio.
- La cantidad del equipo de reserva requerido, ya que hay menor probabilidad de otra falla antes de que la primera pueda repararse.

1.6.3. Protección de sobre velocidad

En todos los generadores hidroeléctricos se recomienda la protección contra sobrevelocidad. El elemento de sobrevelocidad deberá responder a la velocidad de la máquina por conexiones mecánicas, o eléctrica, equivalente, si es eléctrica, el elemento de sobrevelocidad no deberá estar afectado en forma adversa por la tensión del generador.

El elemento de sobrevelocidad puede proporcionarse como parte del primotor, o de su regulador de velocidad o bien del generador; deberá hacer funcionar el regulador de velocidad, o en cuanto esté provisto otro medio de paro, parar el primotor. Disparará también el interruptor del generador esto con objeto de impedir el funcionamiento en sobrefrecuencia de las cargas conectadas al sistema alimentado por el generador, y también para impedir el posible funcionamiento en sobrefrecuencia del generador mismo a partir del sistema de corriente alterna. El dispositivo de sobrevelocidad deberá disparar también el interruptor de los sistemas auxiliares del generador de donde se toma la potencia de los auxiliares de las puntas del generador.

En ciertos casos, puede ser adecuada la protección de sobrefrecuencia para proporcionar ambas formas de protección. Sin embargo, se prefiere un interruptor centrífugo conectado directamente al eje del generador. El elemento de sobrevelocidad debe ajustarse por lo general para funcionar de 3% a 5% arriba de la velocidad de rechazo de plena carga. Se precisa la protección suplementaria de sobrevelocidad para algunos tipos de turbinas de gas. El fabricante deberá especificar si es necesaria dicha protección para cualquier turbina dada, y cuál deberá ser su ajuste.

1.7 Mecanismos de protección de sobre velocidad en funciones en la planta Jurún Marinalá

El mecanismo de protección forma parte del regulador de la unidad hidrogeneradora. El regulador es modelo Mipreg-520/s utiliza un microprocesador digital para realizar su trabajo, el cual consiste en mantener entre parámetros predeterminados la velocidad rotacional de la unidad hidrogeneradora independientemente de los cambios de potencia en la unidad. La sobrevelocidad lógicamente esta fuera de los parámetros de velocidad normal, por lo que debe ser corregida por el regulador. Por esta circunstancia la protección de sobrevelocidad forma parte del regulador.

1.7.1. Funcionamiento de protección de sobre velocidad

El regulador capta la señal de velocidad de la unidad a través de los bornes de los transformadores de potencial del generador, esta señal es llamada igualmente remanente del alternador, la señal pasa por un convertidor analógico-digital el cual efectúa la adquisición de la señal analógica de los transformadores de potencial, y los cambia a dimensiones digitales (numéricas), que ingresa al microprocesador el cual tiene un contador programable que efectúa una medida digital del período de las señales provenientes del transformador de potencial.

El microprocesador convierte este período en frecuencia, por medio de una operación de cálculo, ya que la frecuencia es el inverso del período. La base de tiempo utilizada para la medida está suministrada por un reloj de cuarzo que es parte del regulador. De manera que se obtiene un valor lineal en función de la velocidad de la máquina.

El valor de la frecuencia es comparado por el microprocesador con un parámetro programado llamado consigna el cual es un valor numérico memorizado permanentemente en el regulador, esta protegido de cortes de alimentación eléctrica. De la comparación el microprocesador determina si la velocidad esta dentro de los rangos predeterminados o si se tiene sobrevelocidad, si el microprocesador detecta sobrevelocidad. Inicia el programa "parada de urgencia" y manda la secuencia de datos en parámetros digitales que ingresan a un convertidor digital-analógico que transforma los parámetros digitales en señales analógicas. Que operan los diferentes mecanismos de la unidad hidrogeneradora.

Secuencia del disparo:

- 1. En el microprocesador se da inicio al programa "parada de urgencia" y manda las siguientes ordenes.**
- 2. Abrir interruptor desenganchar excitación del generador.**
- 3. Cerrar deflectores para interrumpir el flujo de agua a la turbina.**
- 4. Cerrar agujas de inyectores de agua de la turbina.**
- 5. Cerrar el by-pass y la válvula esférica que cierran el paso de agua a los inyectores.**
- 6. El microprocesador verifica si se realizaron las ordenes siguientes.**
 - 6.1 Interruptor abierto.**
 - 6.2 Deflectores cerrados.**
 - 6.4. Agujas cerradas.**
 - 6.5 By-pass y válvula esférica cerrados.**
 - 6.6. Unidad hidrogeneradora parado.**
- 7 Si la verificación es positiva, el regulador ordena.**
 - 7.1. Desenganchar bomba de regulación.**
 - 7.2. Detener sistema de enfriamiento de la unidad hidrogeneradora.**
- 8 El microprocesador da fin al programa parada de urgencia.**

1.8 Sistemas de protección tipo mecánico

Con la finalidad de modernizar la planta se colocaron nuevos y modernos sistemas de excitación de estado sólido, y se removieron los sistemas de tecnología obsoleta tipo dinámico. En el extremo de la excitatriz removida. Estaba montado el mecanismo de protección de sobre velocidad mecánico, de las unidades hidrogeneradoras, al desmontar las excitatrices quedaron desacoplados los mecanismos de protección de las unidades, en la figura 3 se observa la ubicación del mecanismo anterior a la modernización.

Actualmente, la unidad hidrogeneradora, carece de excitatriz tipo dinámico por lo que el mecanismo de protección. Se montará en el acoplamiento de la excitación, o sea al extremo actualmente libre del eje principal de la unidad después del cojinete tipo chumacera. Tal como se observa en la figura 4 la ubicación futura del mecanismo de protección.

1.8.1 Funcionamiento

Básicamente el mecanismo es un cilindro con el diámetro interno excéntrico, atravesado diametralmente a un extremo de su longitud por un pasador que lo une al eje de la unidad hidrogeneradora. Al rotar el eje por medio del pasador rota también el cilindro. El que a causa de la excentricidad de su diámetro interior con respecto al exterior, y la posición del pasador en el cilindro, tiende a rotar utilizando el pasador como eje, perdiendo el paralelismo con respecto al eje principal.

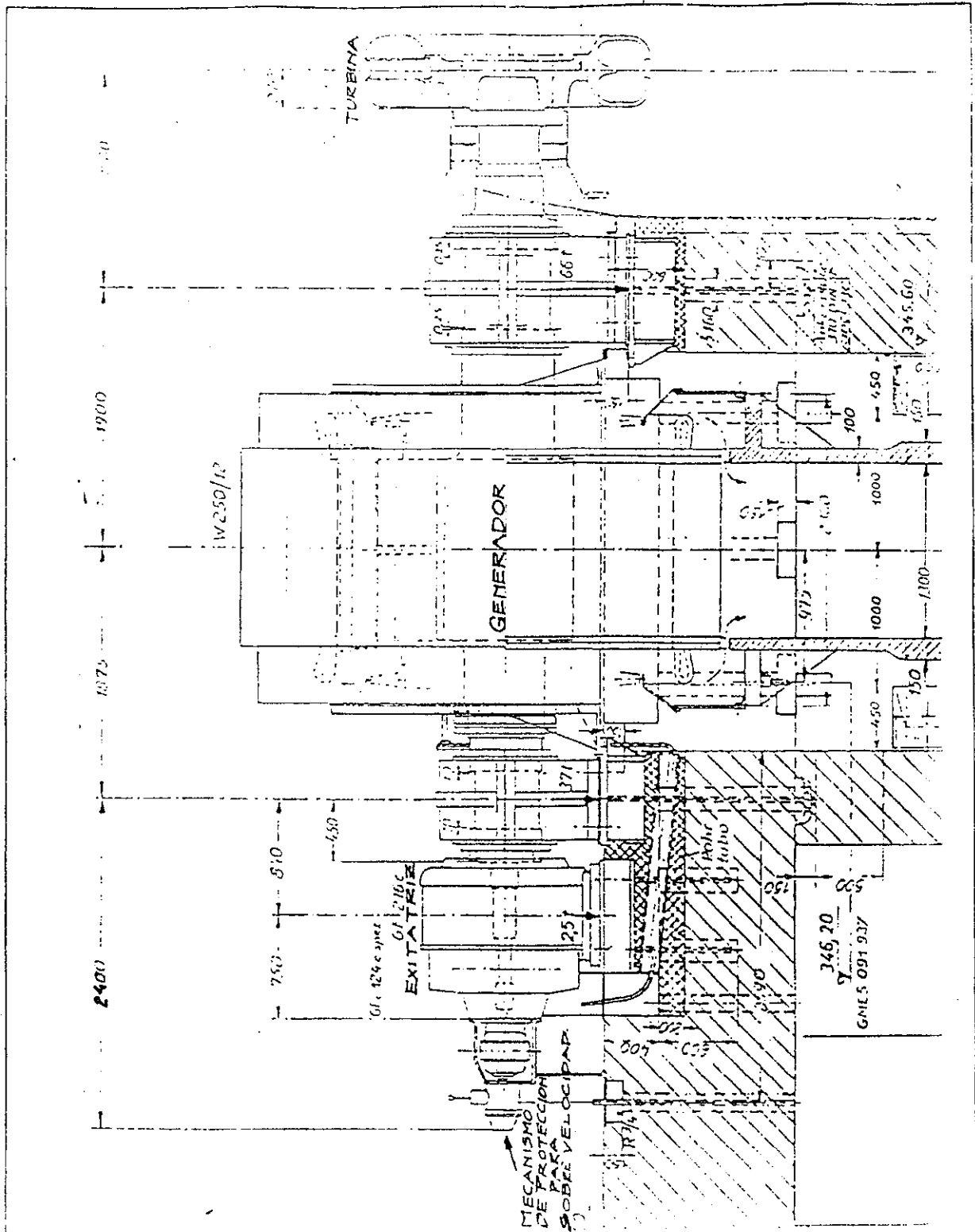


FIGURA 3

JURUN MARINALA 22/01/99	HIDROGENERADOR CCN EXCITATRIZ
ESCALA 1:45 DIM. EN mm	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

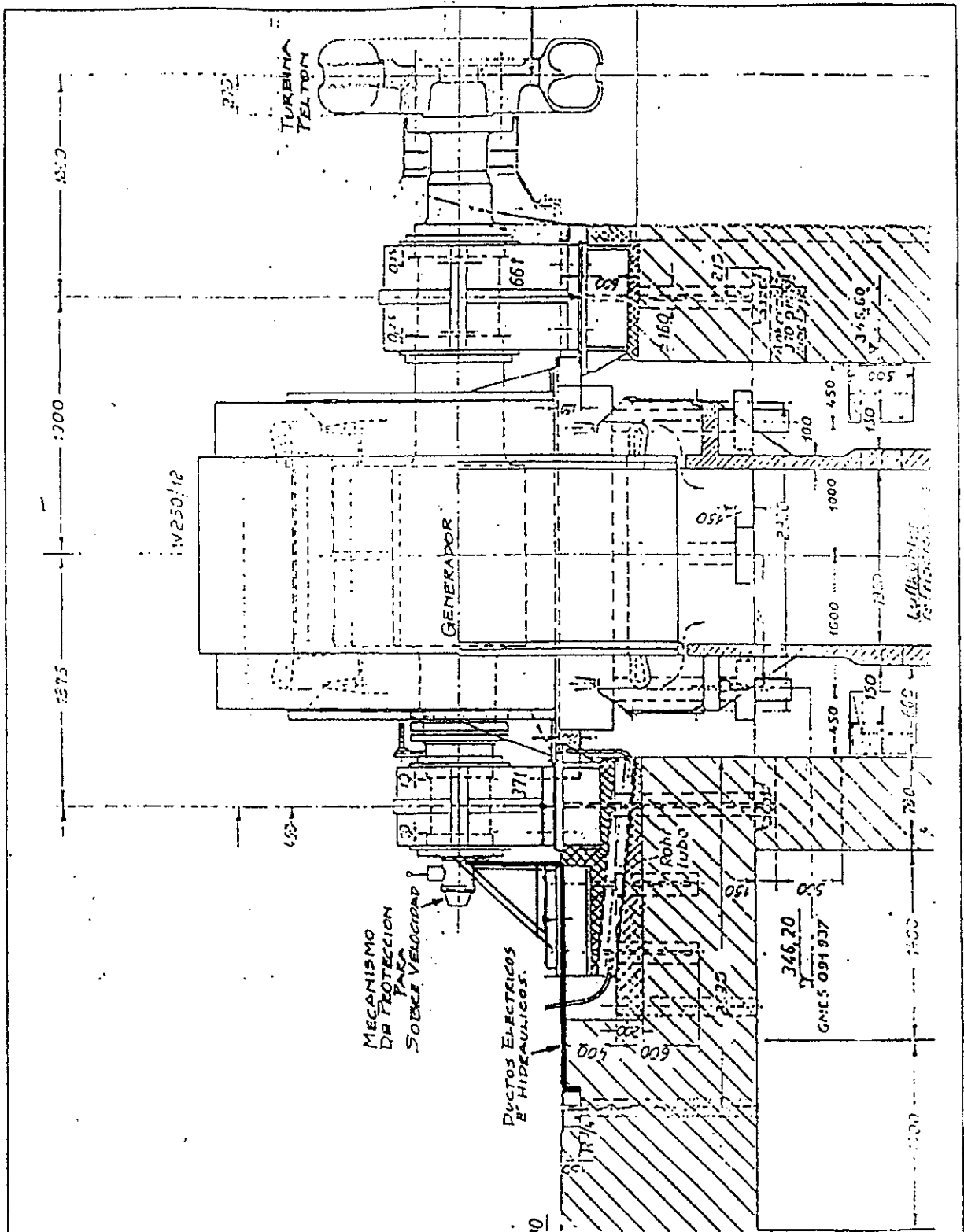


FIGURA 4

JURUN MARINALA 22/01/99	HIDROGENERADOR SIN EXCITATRIZ
ESCALA 1:45 DIM. EN mm	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

La velocidad rotacional a la que el cilindro pierde el paralelismo, es regulada por medio de un resorte cuyos extremos están montados uno en el extremo del eje y el otro en el cilindro. El montaje del resorte en el eje tiene un tornillo para graduar la tensión del resorte, y a su vez la velocidad de pérdida de paralelismo. Que en este caso es de 720 revoluciones por minuto.

Al perder el paralelismo el cilindro en su extremo de mayor distancia al pasador, el cual coincide con el extremo del eje principal. Aumenta la distancia entre los extremos del cilindro y eje.

Al llegar la distancia entre eje y cilindro a su máximo, el cilindro empuja una palanca tipo gatillo, accionando una válvula que desvía la circulación normal de aceite de alta presión, provocando el cierre de deflectores, agujas de inyectores, válvulas de by-pass y esférica.

La misma acción del gatillo de la válvula, acciona un contacto que abre el interruptor de la excitatriz del generador de la unidad, con lo cual queda fuera del sistema la unidad, y resuelve el problema de sobre frecuencia.

Al quedar cerrado el paso de agua hacia la turbina, la unidad pierde velocidad y se evita el deterioro a causa de la sobrevelocidad.

2. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO

Por los costos elevados de un hidrogenerador este es protegido con protecciones principales y de respaldo, para tener buenos parámetros de seguridad, la protección de sobrevelocidad tipo mecánico es una protección de respaldo.

2.1. Descripción

En el capítulo anterior se dan a conocer las generalidades del mecanismo, pero es importante saber su ubicación, componentes y funcionamiento.

2.1.1. Ubicación original del mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico

Inicialmente, el mecanismo se encontraba instalado en la excitatriz primaria en el extremo de la unidad hidrogeneradora. como se puede observar en la figura 3 de vista general de la unidad anterior a la modernización.

2.1.2. Ubicación futura del mecanismo de protección de sobre velocidad tipo mecánico.

El mecanismo de protección se instalará al extremo del eje de la unidad hidrogeneradora en el lugar en que estaba acoplada la excitatriz. Como se observa en la figura 4 de vista general de la unidad después del montaje del mecanismo.

2.2. Partes componentes

El Mecanismo está compuesto por: una carcasa, un eje, un cilindro centrifugo y el accionamiento.

2.2.1. Carcasa

En el interior se ubica el eje y el mecanismo centrifugo, y en su parte superior esta montado los mecanismos de accionamiento manual y el gatillo que acciona el centrifugo.

2.2.2. Eje

Es un cilindro vacío con una muesca para dar paso al resorte tensor del cilindro centrifugo, y va unido al acoplamiento por un eje que lo penetra, y anclado por una cufia y tornillo castigador, esta cruzado diametralmente, a la mitad de su longitud por el eje de pivote del cilindro centrifugo, en el extremo libre tiene una tapa donde se monta el tornillo de graduación del resorte tensor.

2.2.3. Centrifugo

Es un cilindro maquinado en su interior, por dos cilindros de menor radio y eje central desplazado lateralmente uno a cada lado del eje del cilindro mayor, de longitud poco menor que el cilindro matriz, saliendo de este, uno a cada extremo, la porción de material entre los cilindros menores y los extremos del cilindro mayor (por las diferencias en magnitud de sus ejes) constituye la masa excéntrica. Se pueden ver en las figuras 5 y 6.

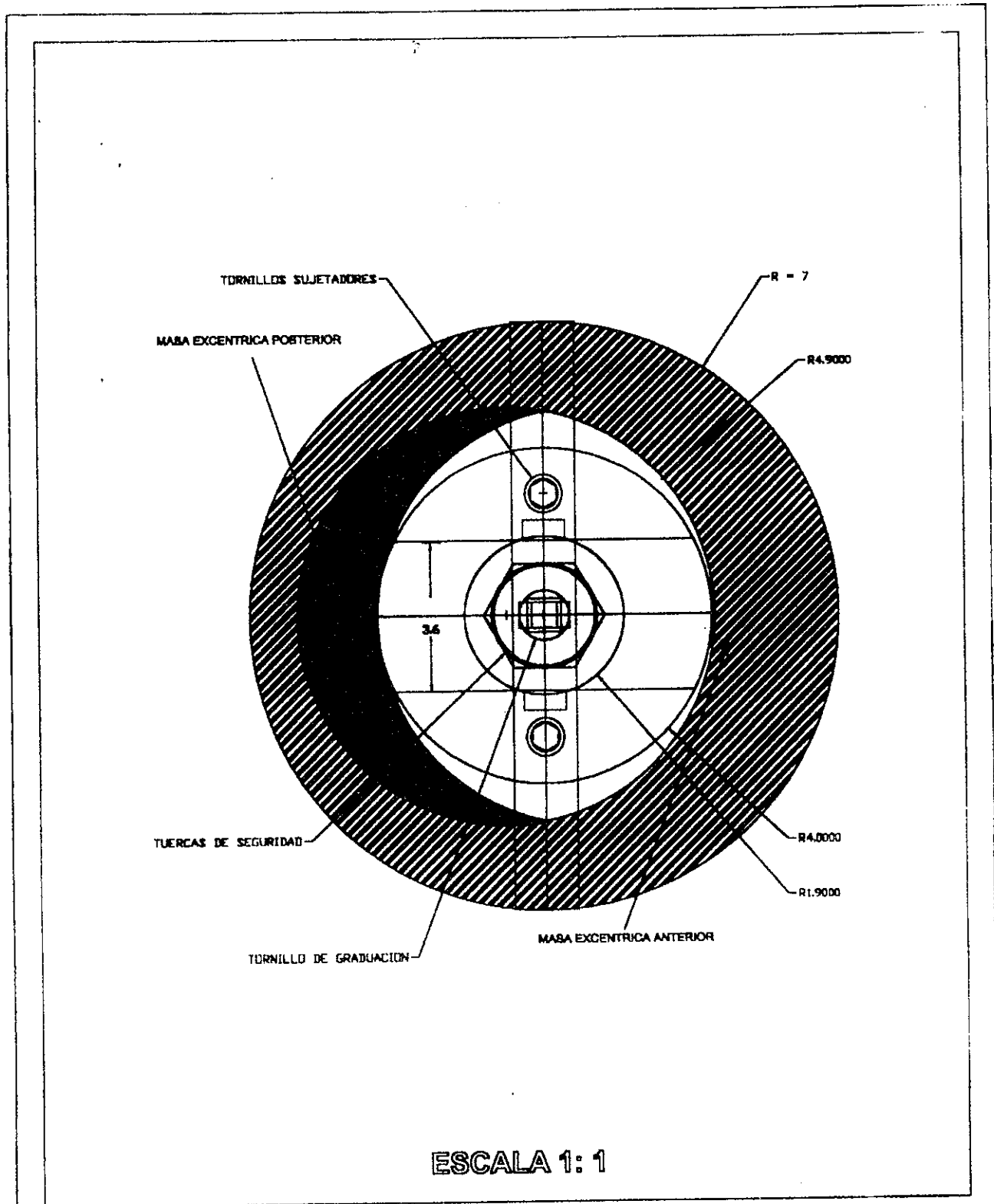
2.2.4. Mecanismos de accionamiento

Se puede dividir en manual y automático para facilitar su comprensión, se trata por separado a cada uno.

2.2.4.1. Manual

Esta conformado por la carcasa, en la cual esta montada la palanca de accionamiento y los resortes que dan posición a esta.

En la carcasa se localiza un interruptor eléctrico que envía la señal de disparo al gobernador y una válvula que desvía la circulación de aceite de alta presión, provocando cierre de los deflectores, agujas y válvulas esféricas, para cerrar el paso de agua a la turbina. El interruptor y la válvula son comandados por la palanca manual o el gatillo centrifugo.



ESCALA 1: 1

FIGURA 5
DIMENSIONES EN CENTIMETROS

<p>JURUN MARINALA 19/01/99</p>	<p>PROTECCION SOBREVUEL.</p>
<p>VISTA FRONTAL</p>	<p>FRANCISCO DANIEL HERRERA P.</p>

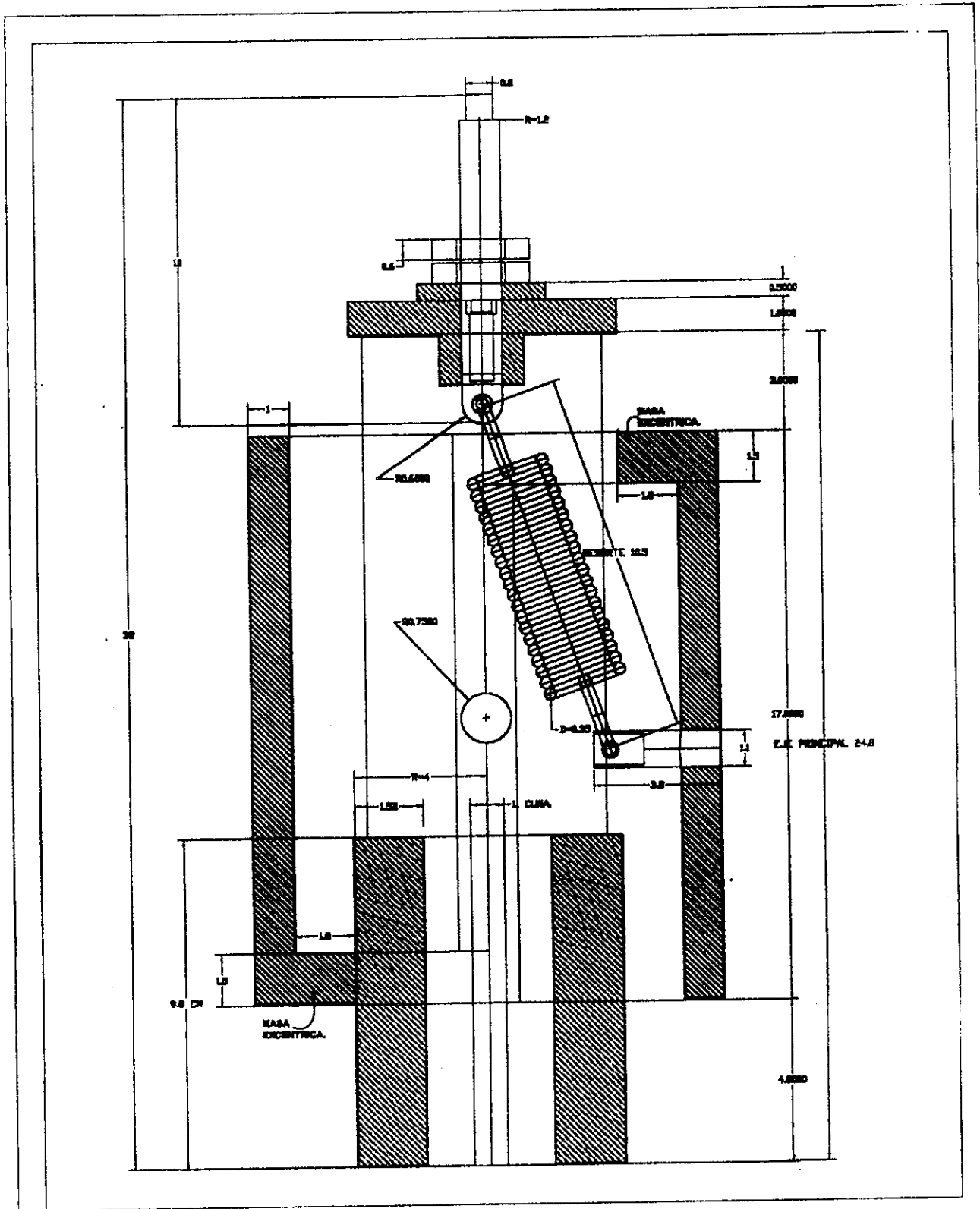


FIGURA 6
 ESCALA 1:1.6 DIMENSIONES EN CENTIMETROS

JURUN MARINALA 20/01/99	PROTECCION SOBREVUEL.
PLANTA	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

2.2.4.2. Gatillo

Es una palanca accionada por el mecanismo centrifugo, esta montado en la misma carcasa que el mecanismo manual y cuenta con resortes para fijar las posiciones normal o disparo.

2.3. Funcionamiento régimen normal

El régimen normal de la unidad es rotar a 600 revoluciones por minuto, a esta velocidad de rotación el eje del mecanismo y el cilindro centrifugo mantienen los ejes centrales en la misma posición.

El accionamiento manual (palanca) y centrifugo(gatillo) se encuentran en posición normal. El interruptor eléctrico abierto y la válvula de desviación del sistema oleohidráulico cerrada.

2.4. Funcionamiento del accionar protección

Al llegar la velocidad de rotación de la unidad a 720 revoluciones por minuto, el cilindro centrifugo a consecuencia de su masa excéntrica vence la fuerza del resorte tensor y rota sobre el eje pivote.

Los extremos de mayor masa se alejan del eje central de rotación, uno de los extremos acciona el gatillo del mecanismo de accionamiento.

Al accionarse el gatillo abre la válvula y desvía el aceite del sistema de alta presión provocando cierre de los deflectores, agujas y válvula esférica. También cierra el interruptor eléctrico que manda señal de disparo al gobernador (Mipreg).

3 IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN DE SOBRE VELOCIDAD TIPO MECÁNICO

La necesidad de montar el mecanismo de protección a la unidad Hidrogeneradora, se basa en la posibilidad de falla de la protección electrónica y las ventajas de la protección tipo mecánico.

3.1. Ventajas de la protección mecánica sobre la protección digital

En este tema vemos la necesidad que la unidad Hidrogeneradora tiene de la protección mecánica para ampliar los márgenes de seguridad.

3.1.1. Facilidad en el aprendizaje del funcionamiento

Es un dispositivo mecánico por lo que su forma de operación, es de fácil comprensión pues los pasos de funcionamiento se pueden analizar y observar físicamente. Esto implica que se necesitan menos hora-hombre para entender su funcionamiento, y al aparecer algún desperfecto fácilmente se aprecia por una simple inspección visual.

3.1.2. No depende de alimentación de energía para su operación exceptuando la cinética de la unidad hidrogenera

La protección digital obtiene energía para actuar, de un banco de baterías, por lo que depende de su buen funcionamiento. y el de los accesorios de este, tales como: cargador, terminales y cableados.

3.1.3. No depende de sensores para captar la rotación de la unidad

La protección digital utiliza sensores que se sirven de cableado de conexión. Por lo que la protección mecánica tiene un mayor grado de confiabilidad.

3.1.4. Las condiciones climáticas le afectan en menor grado que al sistema digital

El sistema digital por su constitución y operación es vulnerable a condiciones climáticas de calor extremo y alto porcentaje de humedad, los cuales se presentan en la localización geográfica de la planta, por lo que el sistema digital tiene riesgo de falla.

El sistema mecánico al ser afectado en menor grado por dichas condiciones, tiene mayor grado de confiabilidad.

3.1.5. Tiene un accionamiento manual para desconectar el generador por emergencias debidas al funcionamiento de éste.

Posee una palanca que al accionarla manda a la unidad una parada de emergencia, la cual carece el sistema digital, este sistema es el ultimo recurso del que dispone el operador para detener la unidad hidrogenadora.

3.1.6. Posee medios propios ubicados en el mecanismos (sin conexiones a distancia) para disminuir la velocidad de la Unidad

El sistema digital al dar orden de parada de emergencia, se sirve de electroválvulas a través de cableado, para accionar los diferentes mecanismos.

El sistema mecánico tiene entre sus componentes, una válvula y un interruptor que se acciona directamente por el gatillo automático o por la palanca manual, por lo que su accionamiento es confiable.

3.1.7. Su mantenimiento es más simple que el de un sistema digital

El sistema mecánico, no es delicado como el digital, es mas accesible y son pocas las condiciones a cumplir.

3.1.8. Acciona directamente la fuente del mando de los deflectores, inyectores y válvula esférica

Al enviar la orden de parada, se acciona una válvula que libera la presión del circuito de alta presión, que gobierna la posición de los deflectores, válvula esférica y los inyectores.

El sistema digital envía ordenes a las electroválvulas por medio de cables, por lo que depende de su estado y el buen funcionamiento de las electroválvulas, de esto se deduce que el sistema mecánico es mas confiable.

3.1.9. Es bastante robusto por lo que los impactos no lo afectan.

Al realizar mantenimiento a los mecanismos, podría golpearse el mecanismo. Siendo el sistema mecánico mas resistente a impactos aventajando al digital en confiabilidad.

3.2. Criterios de diseño

Los diseñadores de unidades hidrogeneradoras por el alto costo de los equipos, los protegen con protecciones de respaldo, y en el caso de la protección de sobre velocidad, utilizan la protección digital como principal y la mecánica de mayor confiabilidad como protección de respaldo.

4. DISEÑO DE MONTAJE

Este capítulo trata el cálculo de las dimensionales de los mecanismos del montaje en función de las características del material a emplear y funcionamiento, tomando en cuenta los parámetros de seguridad para un funcionamiento óptimo.

4.1. Datos del montaje anterior

Son necesarios para realizar el diseño y dejar las características de funcionamiento proyectadas para el hidrogenerador.

4.1.1. Dimensiones

Estas son de utilidad para el diseño, pues dan la ubicación de los componentes del mecanismo en la ubicación anterior, las dimensiones longitudinales están en centímetros como se aprecian en la figura 3.

4.1.2. Posición

El diseño original del hidrogenerador como se aprecia en la figura 3 tenía el mecanismo de sobre velocidad al extremo de la excitatriz dinámica.

4.1.3. Ubicación de elementos auxiliares

La tubería para aceite y el cableado eléctrico se localizaban en el entrepiso, salían a través de una ventana ubicada en el piso, verticalmente bajo el mecanismo de protección de sobre velocidad, una estructura de hierro unía la ventana con el mecanismo de protección, como se aprecia en la figura 3.

4.1.4. Elementos para el montaje

La carcasa del mecanismo de protección, estaba unida a la carcasa de la excitatriz con tornillos, la parte móvil del mecanismo, estaba acoplada al eje de la excitatriz, como se puede observar en la figura 3.

4.1.5. Características del material del eje principal del mecanismo.

Según datos de fabricante:

Material

BBC - DIN

St 330

Resistencia a tracción 50 a 65 Kg./mm cuadrado.

Límite de elasticidad 30

Alargamiento 20 %

COMPARABLE

ASTM - STANDARDS

ASTM A 235

Class E

4.2. Cálculo de eje de montaje

Este cálculo es el de mayor importancia pues sus dimensiones varían en el presente diseño y por el tipo de montaje su diseño debe ser meticuloso para evitar falla de pandeo y vibración.

4.2.1. Fuerzas que actúan en el eje.

El eje tiene un montaje tipo voladizo acoplado a un disco.

Los esfuerzos del eje serán:

- Esfuerzo de Corte Puro, debido al peso actuando verticalmente.
- Esfuerzo de Corte por torsión, debido a la Inercia que presenta resistencia al cambio de velocidad o aceleración rotacional que se da al arrancar las unidades hidrogeneradoras.
- Esfuerzo de Flexión, a consecuencia de un peso actuando a una distancia del acoplamiento.

En la figura 7 se muestra el eje, las fuerzas que actúan en él, y los esfuerzos que presenta .

Las figuras 8, 9 y 10 son áreas de corte transversal del eje en las que se aprecia la actuación de esfuerzos: torsor, de corte y flexor en su dirección, y localización de magnitud máxima.

4.2.2. Cálculo de esfuerzo de corte

Los datos necesarios para el cálculo son:

- El peso total que soporta el eje
- Ubicación de área de máximo esfuerzo

4.2.2.1. Peso soportado por el eje

Es el del mecanismo centrífugo y el del eje. Por información del fabricante (comprobado en balanza) el peso del mecanismo es de 16 Kilogramos(fuerza).

El peso del eje será función del peso específico y volumen del mismo para el volumen, la longitud del eje constante la longitud del eje basándose en la distancia mínima entre la carcasa y el eje del hidrogenerador, será de 18 cms. Esto se aprecia en la figura 12.

El área transversal se calcula posteriormente, dejando el esfuerzo en función del área.

4.2.2.2. Área de máximo esfuerzo

El esfuerzo de corte es proporcional al peso. El peso del mecanismo centrífugo no varia. El peso del eje es proporcional al volumen. El volumen es igual a la longitud multiplicado por el área del eje. El área se calculará posteriormente, la longitud del eje es constante, teniendo un punto de longitud máxima soportada en el extremo unido al volante del mecanismo.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE

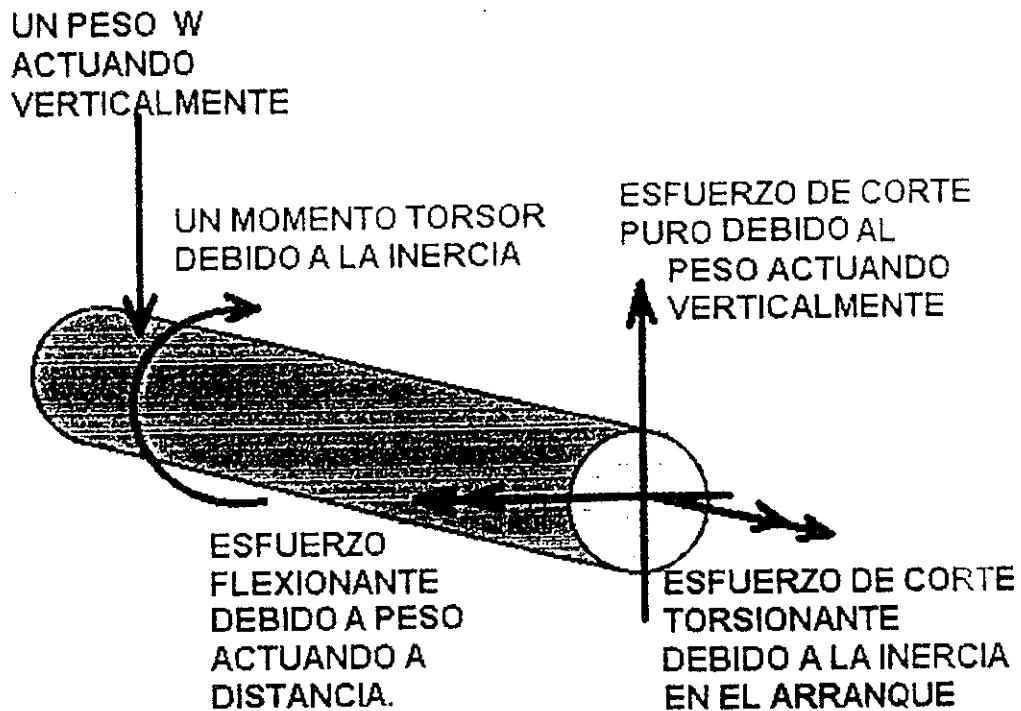
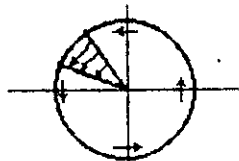


FIGURA 7

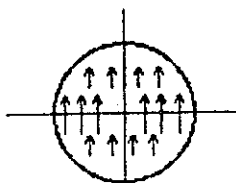
ESFUERZO DE TORSION



DIRECCION CIRCULAR
MAGNITUD MAXIMA EN LA
PERIFERIA DE CORTE

FIG. 8

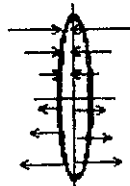
ESFUERZO DE CORTE



DIRECCION VERTICAL HACIA
ARRIBA MAGNITUD MAXIMA AL
MEDIO HORIZONTALMENTE

FIG. 9

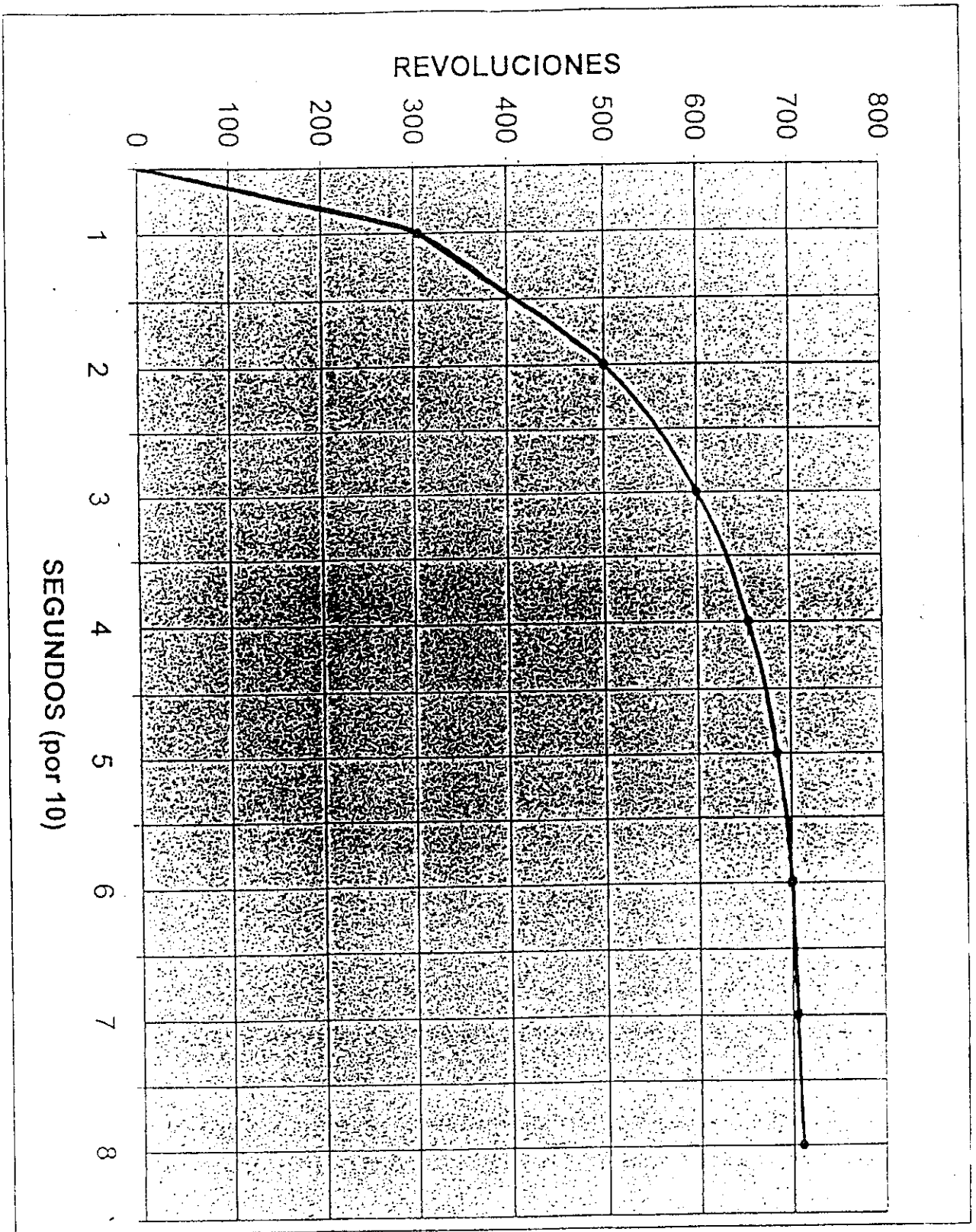
ESFUERZO DE FLEXION

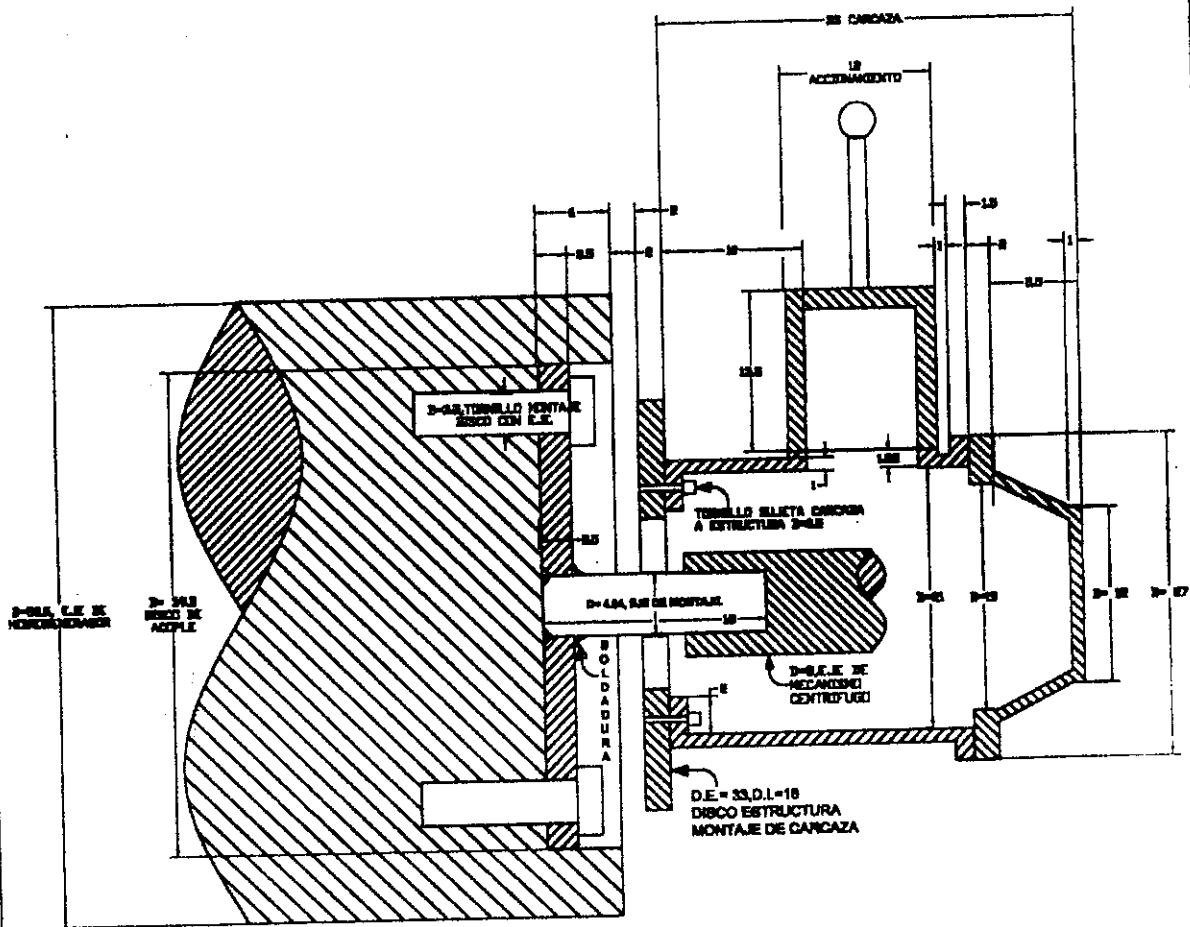


DIRECCION MITAD SUPERIOR HACIA DENTRO DEL
AREA, INFERIOR HACIA FUERA DEL AREA
MAGNITUD MAXIMA EXTREMOS SUPERIOR E INFER.

FIG. 10

FIGURA 11





ESCALA 1:6

FIGURA 12

DIMENSIONES EN CENTIMETROS

JURUN MARINALA 18/01/99	PROTECCION SOBREVUEL.
MECANISMO Y MONTAJE	FRCO.DANIEL HERRERA P.

4.2.2.3. Deducción de fórmulas

La ecuación a utilizar es.

$$\text{EQ 1: } \text{esfuerzo de corte} = (\text{peso total} \times \text{momento estático}) / (\text{Inercia del eje} \times \text{ancho del eje})$$

Para facilitar calculo se trabaja con:

EC = esfuerzo de corte

PT = peso total

Q = momento estático

IE = inercia del eje

R = radio del eje

a = ancho de eje

PI = 3.1415

Simplificando.

$$\text{EQ 1: } \text{EC} = (\text{PT} \times \text{Q}) / (\text{IE} \times \text{a})$$

Q es por definición proporcional al ancho del eje neutro, siendo máximo a mitad del área transversal.

Q = (área transversal del eje / 2) x distancia del centro de Gravedad de la mitad del círculo, al eje neutro)

$$\text{Q} = (\text{PI} \times \text{R}^2 / 2) \times (4 \times \text{R} / 3 \times \text{PI})$$

$$\text{Q} = (2 \times \text{R}^3) / 3$$

$$\text{IE} = (\text{PI} \times \text{R}^4) / 4$$

$$\text{EC} = (\text{PT} \times 2 \times \text{R}^4 \times 4) / (6 \times \text{PI} \times \text{R}^5)$$

$$\text{EC} = (\text{PT} \times 4) / (3 \times \text{PI} \times \text{R}^2)$$

$$\text{EQ 1: } \text{EC} = (\text{PT} \times 4) / (3 \times \text{Area}). \text{ Area} = \text{área transversal de eje.}$$

PT = peso del mecanismo + peso del eje.

peso del mecanismo = 16 Kg.

peso del eje = peso específico del material x volumen del eje.

Volumen del eje = Longitud X Area= 18 x área.

Peso del eje = peso específico x 18 x área

Simplificando C = peso específico x 18

peso del eje = C x área.

$$EC = (16 + C \times \text{área}) \times 4 / (3 \times \text{área})$$

$$EC = (24 / \text{área}) + (4 \times C / 3)$$

$$\text{Area} = \text{PI} \times R^2$$

$$EC = ((16 + (C \times \text{PI} \times R^2)) \times 4) / (3 \text{PI} \times R^2)$$

$$\text{Peso Especifico} = 7.89 \text{ Kg/dm}^3 = 0.00789 \text{ kg/cm}^3$$

$$C = 0.00789 \times 3 \text{ Kg / cm}^3 \times 18 \text{ cm}$$

$$EC = ((16 \text{ Kg} + (0.00789 \text{ Kg / cm}^3 \times 18 \text{ cm} \times (\text{PI} \times R^2 \text{ cm}^2)) \times 4) / (3 \times \text{PI} \times R^2 \text{ cm}^2))$$

Finalmente queda:

$$\text{EQ 1: } EC = ((6.79 / R^2) + 0.19) \text{ Kg / cm}^2$$

4.2.3. Cálculo de esfuerzo de torsión

Los datos necesarios para operar la fórmula son:

El momento de torsión, la inercia y la posición del área de máximo esfuerzo.

4.2.3.1. Momento de torsión

Es provocado por la aceleración angular al arranque de los hidrogenadores y la resistencia que presenta la inercia del mecanismo de protección.

La aceleración se obtiene de la figura 11 de velocidad angular contra tiempo suministradas por el fabricante de los reguladores de velocidad. Posteriormente se calculará.

Se realizaron mediciones cronométricas en los arranques de los hidrogenadores corroborando los datos del fabricante.

4.2.3.2. Inercia

Es la suma de la inercia del mecanismo centrifugo y la del eje.

La inercia es un dato suministrado por el fabricante de la protección de sobre velocidad, corroborado en el programa de computación para diseño, Auto Cad 14 la inercia del eje quedara en función de su área.

4.2.3.3. Posición de área de máximo esfuerzo

El momento torsor de eje es igual a la inercia por la aceleración angular, esta ultima no depende del eje. la inercia si depende del tamaño del eje por lo que el área de máximo esfuerzo es el extremo unido al volante del mecanismo.

4.2.3.4. Dedución de fórmulas

La ecuación a utilizar es.

$$\text{EQ 2: Esfuerzo de torsión} = (\text{momento de inercia} \times \text{radio del eje}) /$$
$$(\text{Dividido}) (\text{momento polar de inercia del eje})$$

para facilitar cálculo se trabaja con:

ET = esfuerzo de torsión

MI = momento de inercia (del mecanismo y eje)

RE = radio del eje

I = inercia del eje

J = momento polar de inercia

$$\text{EQ 2: } ET = (MI \times RE) / J$$

$$MI = I \times \text{aceleración rotacional (en radianes/seg}^2\text{)}$$

$$I = I \text{ del mecanismo centrífugo} + I \text{ del eje}$$

I del mecanismo centrífugo lo da el fabricante y se comprobó en programa de computación Auto Cad 14 es igual a :

$$49.54 \text{ Kg cm}^2$$

$$IE = \frac{1}{2} \times \text{masa} \times RE^2$$

la masa del eje se obtiene de la fórmula de densidad

$$\text{densidad} = \text{masa} / \text{volumen}$$

$$\text{masa} = \text{densidad} \times \text{volumen}$$

$$\text{densidad} = 0.00789 \text{ Kg} / \text{cm}^3$$

$$\text{volumen} = \text{longitud} \times \text{área (deducido en EC)}$$

$$\text{volumen} = 18 \times \text{área}$$

$$\text{masa} = 0.00789 \times 18 \times \pi \times R^2 \text{ Kg}$$

$$\text{masa} = (0.446 \times R^2) \text{ Kg}$$

$$IE = \frac{1}{2} \times 0.446 \times RE^2 \times R^2$$

$$IE = 0.223 \times RE^4 \text{ Kg cm}^2$$

$$I = 49.54 + 0.223 \times RE^4 \text{ aceleración angular}$$

Se deduce de la figura 11 en la que se representa la función velocidad angular (en r.p.m.) con respecto al tiempo en segundos. La aceleración máxima es la pendiente mas pronunciada en la función.

Esta se encuentra en el inicio de la gráfica entre los valores
velocidad inicial = 0 , tiempo inicial = 0

velocidad final = 200 r.p.m.,

tiempo = 6 seg.

200 vueltas/minuto = 3.33 vueltas/segundo = $6.66 \times \text{PI}$ radianes/seg.

aceleración angular = AA, velocidad angular = VA

$AA = VA \text{ inicial} - VA \text{ final} / \text{tiempo inicial} - \text{tiempo final}$.

$AA = 0 - 6.66 / 0 - 6 = 1.11 \text{ radianes} / \text{segundo}^2$.

$MI = (49.54 + 0.223 \times R^4) \times 1.1$

$MI = 55 + (0.247 \times R^4) \text{ Kg cm}^2$

$J = (\text{PI} \times R^4) / 2 \text{ cm}^4 = 1.57 \times R^4$

$ET = (MI \times R) / J$

$ET = ((55 + (0.247 \times R^4)) \times R) / 1.57 \times R^4$

Al final queda.

$$\text{EQ 2: } ET = ((35.01 / R^3) + (0.1576R)) \text{ Kg/cm}^2$$

4.2.4. Cálculo de esfuerzo de flexión

Los datos necesarios para el calculo son:

El peso y la ubicación del centroide de gravedad del mecanismo centrífugo, del eje y la ubicación del área de máximo esfuerzo.

4.2.4.1. Peso

Este se dedujo en el cálculo de esfuerzo de corte capítulo 4.2.2.3.

4.2.4.2. Ubicación de centroides de gravedad

En el mecanismo centrífugo es un dato proporcionado por el fabricante y corroborado experimentalmente y en el programa de computación para diseño Auto Cad R 14 en el eje se puede calcular pues la longitud ya se tiene y el área es constante en toda la extensión.

4.2.4.3. Deducción de fórmulas

Fórmula

EQ 3: esfuerzo de flexión = (momento flector x radio de eje) /
(dividido) inercia de área de eje

simplificamos

EF = momento de inercia

MF = momento flector

RE = radio de eje

IA = inercia de área de eje

EQ 3: EF = (MF x RE) / IA

MF= momento producido por el M.P.S.V. +momento producido por el eje.

momento producido por el M.P.S.V. = MM

MM = peso del mecanismo por la distancia máxima del centroide de gravedad al punto de fijación, la posición del centroide de gravedad es un dato proporcionado por el fabricante por lo que el MM = J. Momento producido por el peso del eje = MPE.

MPE = peso del eje x la distancia del centroide de gravedad al punto de fijación.
El peso se extrae de la fórmula de peso específico calculado en esfuerzo de corte.

$$\text{Peso} = \text{peso específico} \times 18 \times \text{área} = 0.00789 \text{Kg/cm}^3 \times 18 \text{ cm} \times \text{PI} \times R^2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Peso} = 0.446 \times R^2 \text{ Kg (Kg en peso)}$$

Distancia de centroide de gravedad al punto de fijación con longitud total = 18 cm. y un área constante se obtiene distancia de centroide = 9 cm.

$$\text{MF} = \text{MM} + \text{MPE} = (16 \text{Kg} \times 21 \text{cm}) + (9 \text{ cm} \times 0.446 \times R^2) = 336 + 4.01 \times R^2 \text{ Kg cm}^2$$

$$\text{Inercia del área del eje} = \text{IA} = (\text{PI} \times R^4) / 4 \text{ cm}^4$$

$$\text{EF} = ((336 \text{Kgcm} + 4.01 \times R^2 \text{Kg cm}) \times R \text{ cm}) / ((\text{PI} \times R^4) / 4 \text{ cm}^4)$$

Finalmente queda.

$$\text{EQ 3: EF} = (427.8/R^3 + 5.11/R) \text{ Kg/cm}^2$$

4.2.5. Combinación de esfuerzos

En la figura 7 de cuerpo libre del eje, se puede ver como actúan los esfuerzos concentrando su magnitud máxima con diferentes trayectorias en el área adyacente al empotramiento, en la figura 9 el esfuerzo de corte actúa con trayectoria vertical y dirección hacia arriba con magnitud máxima a mitad del área transversal y mínima en los extremos superior e inferior.

En la figura 8 el esfuerzo de torsión con dirección circular positiva (convención de medición de ángulos), y magnitud variable de cero al centro, y máximo en la periferia del eje.

En la figura 10 el esfuerzo de flexión con dirección longitudinal respecto al eje y magnitud variable de cero en el eje neutro a mitad del área hacia arriba en compresión y abajo en tensión, con valor máximo a los extremos superior e inferior.

Los esfuerzos de torsión y corte actúan en el mismo plano transversal como se puede observar en las figuras 8 y 9 tienen un punto en común de máximo esfuerzo en el extremo derecho del área transversal.

El esfuerzo de flexión actúa en dirección normal al plano transversal y sus máximos se dan en el extremo superior e inferior figura 10 por lo que su dirección en máxima magnitud se analiza por separado.

4.2.5.1. Dedución de fórmula de esfuerzo combinado

Esfuerzo máximo de corte = EQ 4: $EMC = EQ 1 + EQ 2$

$$EMC = ((6.79 / R^2) + 0.19) + (35.01 / R^3 + 0.157 R)$$

$$EQ 4: EMC = (35.01 / R^3 + 6.79 / R^2 + 0.157 x R + 0.19) \text{ Kg / cm}^2$$

Con las características del material para el eje recomendado por el fabricante y utilizando un margen de seguridad adecuado, obtenemos EMC y despejamos área en términos de RE. Interpolando posibles soluciones de RE en el programa de calculo de esfuerzos del Programa en Apéndice encontramos el RE requerido.

Después de interpolar varias veces encontramos que:

Para el corte máximo recomendado por ASTM, de 560 Kg / cm² el radio debe de ser de 0.4071 cm con este valor se obtiene EF = 6353.25 Kg / cm² que es mayor al del material elegido (6000 Kg / cm²).

Esfuerzo en Flexión.

$$\text{EQ 3: } EF = (427.8 / R^3 + 5.11 / R) \text{ Kg / cm}^2$$

Como se dedujo anteriormente se da el valor de EF e interpolando posibles valores de RE en el programa del apéndice se encuentra el valor de RE necesario.

Se interpoló posibles soluciones de radio y como resultado tenemos que para un esfuerzo de Flexión = 6000 Kg / cm² el radio deben ser de 0.4149 cm con el cual obtenemos un esfuerzo de corte EC = 529.73 Kg /cm² el cual es menor que el recomendado por las normas ASTM (560 Kg / cm) por lo que tomamos este valor de radio.

4.2.5.2. Código ASME para designación de ejes de transmisión

El acero recomendado por el fabricante no se encuentra en el medio por lo que se investigó con los proveedores de dicho material, y se eligió el acero SAE 1045 que posee las siguientes características:

Tipo de aleación Carbón 0.45 Silicio 0.25 Manganeso 0.5

Propiedades mecánicas.

Resistencia a la tracción 6000 a 7000 Kilogramos / Cm².

Dureza Brinell en estado natural 174 a 207 HB.

Para el diseño de ejes el código ASME B17c – 1927 recomienda:

Esfuerzo máximo de cortadura 560 Kg / cm²

Si el eje tiene Chavetero (cufia) reducir el esfuerzo máximo de cortadura a 75% de su valor.

ASME= Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.(Siglas en Inglés).

Después de Interpolar posibles valores de Radio para encontrar Esfuerzo igual a 6000 Kg /cm² tenemos:

Radio =	0.41494 (cm)
Esfuerzo de flexión =	6000 Kg./cm ² .
Esfuerzo de torsión =	529.73 Kg./cm ² .

Como las cargas en la mayor parte de los ejes de máquinas no son constantes, es necesario tomar las medidas precisas para prever los efectos perjudiciales de las variaciones. El código ASME para Proyecto de Ejes de Transmisión, B17c-1927 lo logra introduciendo en la ecuación de la tensión una constante "Cm" y "Ct" en la ecuación siguiente:

$$\text{EQ 5: Tensión cortante máxima} = (16 / (\pi \times D^3)) \times \sqrt{((C_m \times M)^2 + (C_t \times T)^2)}$$

Donde:

DI = diámetro del eje.

M = momento de flexión.

T = momento de torsión.

Cm y Ct se deducen a continuación.

Los valores de Cm y Ct dependen de las características de funcionamiento del eje, cuando se presentan condiciones de sobre velocidad en el hidrogenerador, y no actúa la protección electrónica, el cilindro centrifugo pivotea sobre el eje transversal y se presentan carga aplicadas bruscamente y grandes impactos, según las normas ASTM para Ejes giratorios con este comportamiento tomamos los valores: Cm = 3 Ct = 3

De EQ 5, despejamos el diámetro el cual estará calculado con los factores de seguridad.

Se deducen los valores de momento de flexión y de torsión con el valor de radio encontrado y se introduce en las ecuaciones de Esfuerzo de flexión y torsión.

De EQ 1 y EQ 3 se encuentran los valores de momentos de torsión y flexor

$$EF = (MF \times R) / IE \text{ despejando } MF = (EF \times IE) / R \text{ donde } IE = (\pi \times R^4) / 4$$

$$IE = (3.14159 \times 0.41494^4) / 4 = 0.02328258 \text{ cm}^4$$

$$MF = (6000 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.02328258 \text{ cm}^4) / 0.41494 \text{ cm} = 336.684 \text{ kg cm}$$

$$EC = (MT \times R) / J \text{ despejando } MT = (EC \times J) / R \text{ donde } J = (\pi \times R^4) / 2$$

$$J = (3.14159 \times 0.41494^4) / 2 = 0.04656516 \text{ cm}^4$$

$$MT = (529.73 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.04656516 \text{ cm}^4) / 0.41494 \text{ cm} = 59.4478 \text{ Kg cm}$$

Despejando el diámetro en EQ 5, se obtiene.

$$DI = \sqrt[3]{((16 / (\pi \times 0.75 \times 560)) \times (\sqrt{((3 \times 336.684)^2 + (3 \times 9.4478)^2)}))}$$

El radio del eje en función del esfuerzo del aplicado en el material elegido aplicando los factores de seguridad requeridos para el tipo de trabajo del eje será:

$$\text{Radio} = 1.16 \text{ cm}$$

4.3 Cálculo de vibraciones

Vibración es un movimiento repetitivo, no deseado en los mecanismos, el cual ocasiona deterioro.

Esta se da a una velocidad de rotación, determinada por las características particulares de cada mecanismo, en el presente estudio la vibración es un efecto que se da con facilidad, a causa del tipo de fijación del eje y la carga que este soporta.

4.3.1. Datos del montaje anterior

Es necesario conocerlos para mantener los parámetros de frecuencia de pando y frecuencia de vibración en el mecanismo.

4.3.2. Cálculos de frecuencia

La frecuencia a que vibraba el montaje anterior es de 213.5 Hz. Con un pando de 0.000545 cm. El eje anterior tenía una longitud de 13 cm. y radio de 1.9 cm.

$$\text{EQ 6: FRECUENCIA} = \left(\sqrt{\frac{\text{GRAVEDAD} \times \text{PESO} \times \text{PANDEO}}{\text{PESO} \times \text{PANDEO}^2}} \right) / (2 \times \text{PI})$$

$$\text{GRAVEDAD} = 980 \text{ cm/seg}^2$$

$$\text{PESO} = 16 \text{ Kg.}$$

El pando es la distancia que oscila el eje al vibrar, para determinar esta utilizamos la ecuación.

$$\text{EQ 7: PANDEO} = (\text{PESO} \times \text{LONGITUD}^3) / (3 \times \text{MODULO DE RIGIDEZ} \times \text{INERCIA DEL EJE})$$

Simplificando

FRECUENCIA = FR. Se mide en ciclos / segundo = Hertz = Hz.

LONGITUD = 18 cm.

MODULO DE RIGIDEZ = 2.1 MILLONES DE Kg / cm²

INERCIA DEL EJE = $(\pi \times R^2) / 4 = 3.14159 \times 1.158458^2 / 4 = 1.4145 \text{ cm}^4$

Aplicando EQ 7 se obtiene.

PANDEO = $(16 \text{ Kg.} \times 18^3 \text{ cm.}^3) / (3 \times 2100000 \text{ Kg.} / \text{cm}^2 \times 1.4145 \text{ cm}^4)$

PANDEO = 0.01 cm.

Aplicando EQ 6 se obtiene.

FR. = $(\sqrt{((980 \text{ cm/seg}^2 \times 16 \text{ Kg.} \times 0.01 \text{ cm}^4) / (16 \text{ Kg} \times 0.01^2 \text{ cm}^2)) / (2 \times 3.14159)}$

FR = 48.71 Hz.

La frecuencia y el pando obtenidos con el radio calculado en el sub capitulo 4.2.5.2 son mucho mas grandes que los del diseño anterior, para igualar los valores de frecuencia y pando con el anterior diseño despejamos en EQ 7 el radio.

$R = \sqrt[3]{((4 \times \text{PESO} \times \text{LONGITUD}^3) / (3 \times \text{MODULO DE RIGIDEZ} \times \pi \times \text{PANDEO}))}$

$R = \sqrt[3]{((4 \times 16 \times 18^3) / (3 \times 2100000 \times 3.14159 \times 0.000545^4))}$

Realizando las operaciones matemáticas se obtiene:

$$R = 2.4253 \text{ cm.}$$

El radio anterior se obtuvo con el valor de pandeo del diseño anterior por lo que la frecuencia será la misma, con lo que se satisface las condiciones de diseño.

En el presente capítulo queda claro que para diseñar el eje del mecanismo de protección de sobrevelocidad prevalece el criterio de magnitud de pandeo sobre el criterio de esfuerzo de trabajo.

Por lo que tomamos el valor de radio = 2.43 cm para diseñar el eje.

4.3.3 Adaptaciones de tuberías y cableado

La posición del mecanismo de sobrevelocidad se trasladó como consecuencia de los trabajos de modernización por lo que las conexiones eléctricas y oleohidráulicas cambian trayectoria como se ve en la figura 4.

4.4 Adaptaciones de tuberías y cableado

La posición del mecanismo de sobre velocidad se trasladó como consecuencia de los trabajos de modernización, por lo que las conexiones eléctricas y oleohidráulicas deben cambiar su trayectoria, como se puede observar en las figuras 3 y 4.

La tubería, cables y accesorios necesarios para modificar la trayectoria de las instalaciones, están en el inventario de repuestos de la bodega de materiales de la central, en la figura 4 se observa la longitud de la base original al mecanismo es de 170 cms. en trayecto horizontal y 75 cms. en vertical, se necesitan seis uniones tipo codo para cada instalación y seis abrazaderas para fijarlas a la estructura de montaje.

5. DISEÑO DE DISCO DE UNIÓN ENTRE EJE DEL MECANISMO DE PROTECCIÓN Y EJE DEL HIDROGENERADOR

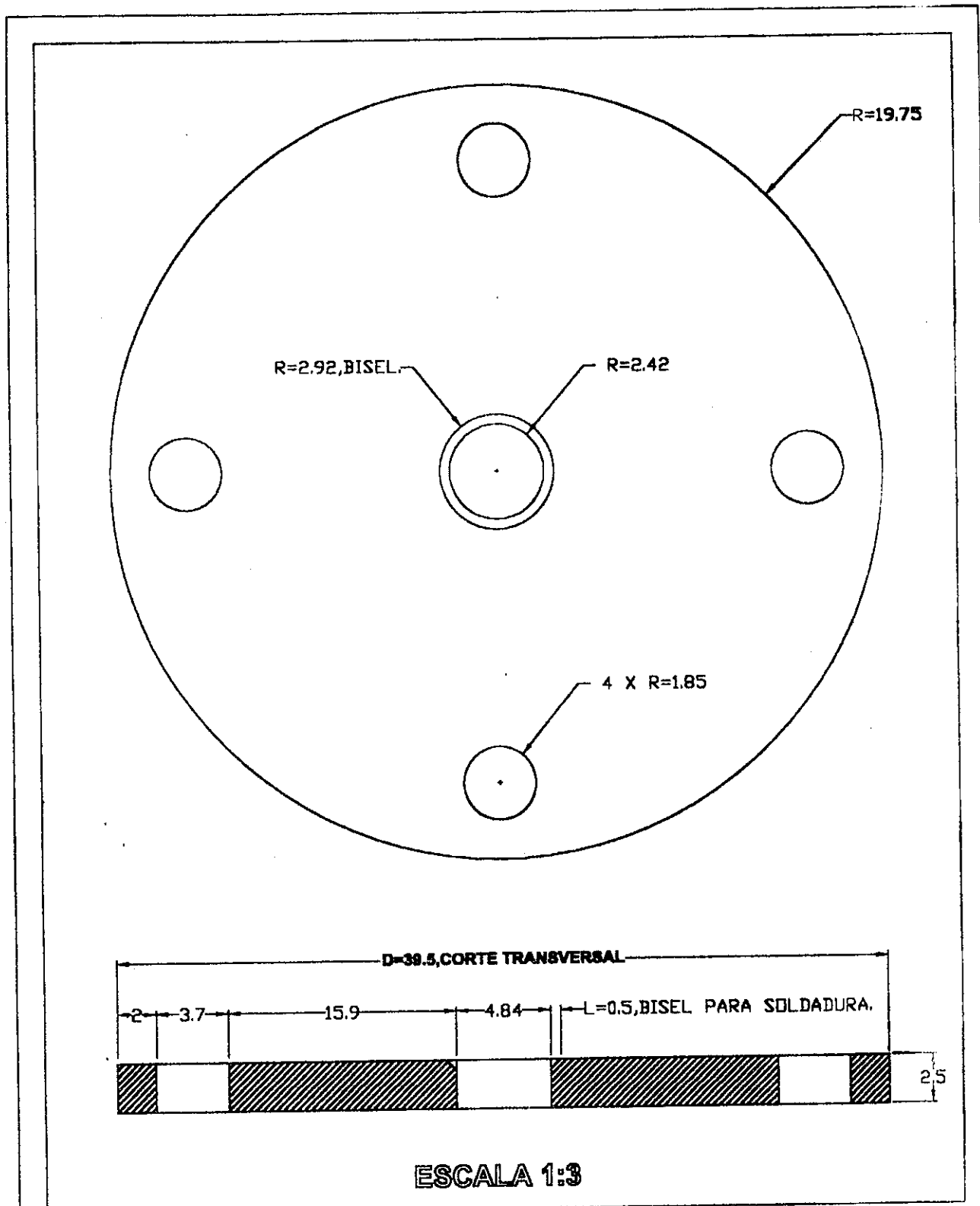
El eje del mecanismo de protección se une al hidrogenerador por medio de un disco, el cual lleva un orificio al centro en el que se aloja y solda el eje, la unión al hidrogenerador se realiza por medio de tornillos, en la figura 12 esta la ubicación del disco en el hidrogenerador.

5.1. Materiales

Con anterioridad al presente diseño los técnicos de la planta realizaron un diseño para lo cual adquirieron planchas de acero, con las siguientes características: Acero 1045 con espesor de 2.5 cm. las dimensiones del disco tienen un margen para el maquinado, el exceso de espesor no afecta pues el hidrogenerador tenía acoplado el eje de la excitatriz que es de volumen superior, sé tendrá un margen de seguridad amplio y se economiza tiempo y dinero.

5.2. Maquinado del disco

La superficie deberá de ser torneada para darle un fino acabado, se deben maquinar 4 orificios de 3.7 cm de diámetro a una distancia de 20.2 cm del centro y torneare con alta presión, el orificio al centro con el radio igual 2.42 cm. Debe ser biselado el disco en el orificio de salida del eje para soldarlo adecuadamente, las dimensiones del disco y el maquinado se aprecian en la figura 13.



ESCALA 1:3

FIGURA 13
DIMENSIONES EN CENTIMETROS

JURUN MARINALA 04/02/99	DISCO DE MONTAJE
VISTA FRONTAL Y LATERAL	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

5.3. Unión disco generador

La excitatriz como se puede apreciar en la figura 3 se acopla al hidrogenerador a través de 4 tornillos de 3.5 cm. de diámetro, para unir el disco se emplean los tornillos antes mencionados ahorrando dinero y trabajo, los tornillos fueron diseñados para soportar un peso superior al del mecanismo de protección por lo que se deduce que soportara con holgura el mecanismo.

5.4. Unión disco con eje de mecanismo de protección

Esta se realizara a través de soldadura para lo cual se utilizara electrodo E 6010 por sus características tales como: resistencia a la tracción mínima = 4350 Kg/cm², especial para soldaduras de varias pasadas.

5.4.1. Soldadura

El eje se bisela para soldarlo al disco en la parte posterior, en la parte anterior del disco se solda con varios cordones para evitar un cambio brusco de geometría entre el eje y el disco evitando concentraciones de tensión.

5.4.2. Tratamiento térmico

El conjunto disco eje unidos por soldadura se someten a un tratamiento de normalización para evitar tensiones residuales y fronteras de grano provocados por la soldadura, para esto se calienta el conjunto según especificaciones del proveedor a 850 grados centígrados. Permanecer a esta temperatura $\frac{1}{4}$ del tiempo que se empleo para calentarlo y enfriamiento al aire libre.

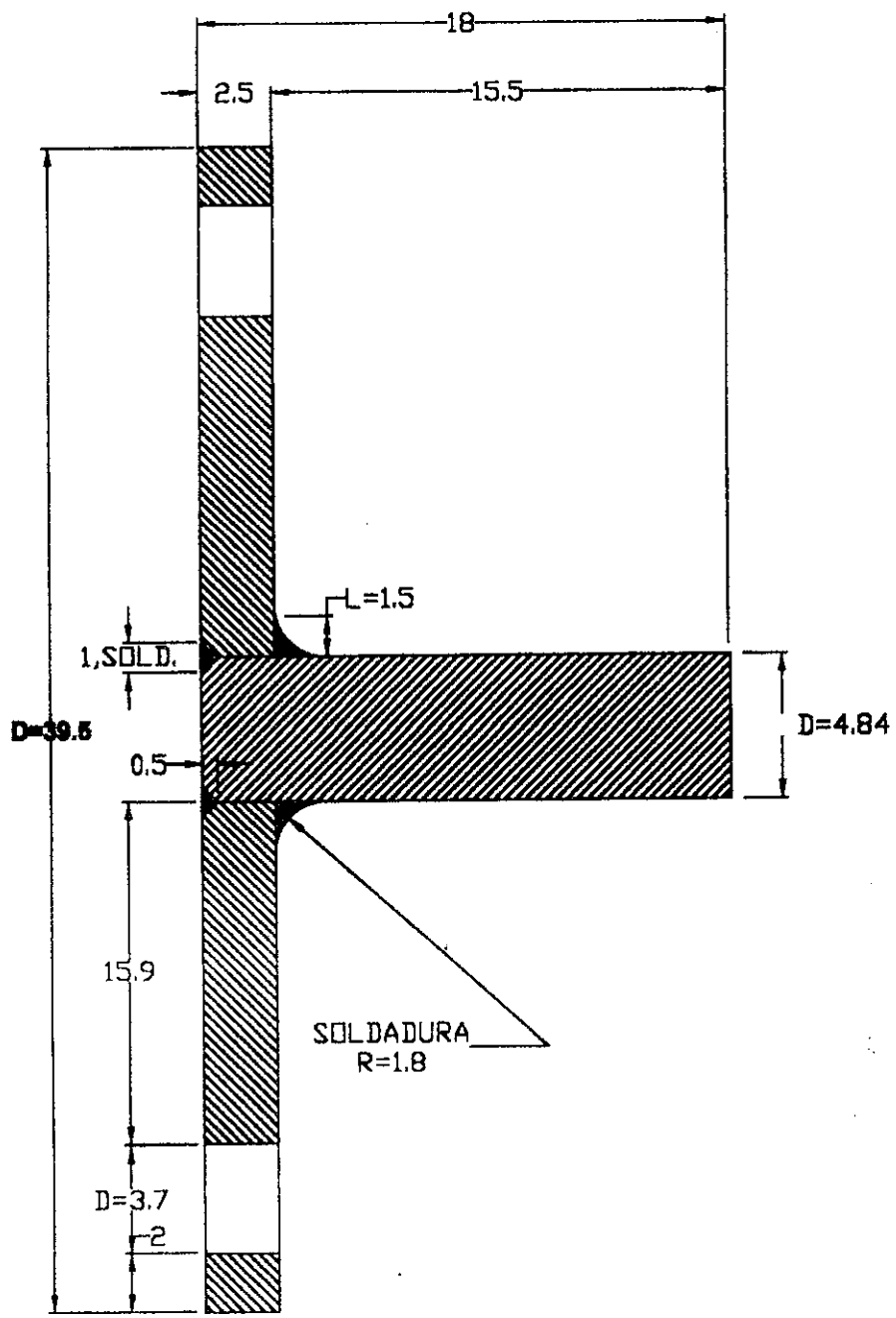
El normalizado refina los granos y eleva las propiedades mecánicas.

5.4.3. Maquinado del conjunto

La soldadura practicada en la cara posterior del disco se torneará para dejar la soldadura a rostro, en la parte anterior la soldadura se maquina par dar forma y un acabado fino a los cordones de soldadura, la superficie debe tener un fino acabado para evitar que se presente fallas por fatiga, el conjunto se aprecia en la figura 14.

5.5. Tratamiento superficial

La superficie del disco y eje debe ser protegida con pintura anticorrosiva de buena calidad y pintura de característica similares a la del hidrogenador para mantener homogeneidad en la casa de máquinas.



DISCO Y EJE DE MONTAJE, CORTE TRANSVERSAL.

ESCALA 1: 2.5

FIGURA 14
DIMENSIONES EN CENTIMETROS

JURUN MARINALA 04/02/99	DISCO Y EJE DE MONTAJE
PLANTA CORTE TRANSVERSAL	FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

6. DISEÑO DE MONTAJE PARA CARCASA DE MECANISMO

Su función será ubicar la carcasa en la posición exacta para un correcto funcionamiento del mecanismo, tal como se observa en la figura 12, proporcionar un soporte que evite vibraciones y dar soporte a las conexiones hidráulicas y eléctricas.

6.1. Materiales

En las bodegas de la central Hidrogeneradora se encuentran angulares de 5 cm por lado y espesor de 5 mm. de acero 1045, y 6 mts. De longitud, los cuales serán la materia prima para el diseño.

6.2. Análisis de cuerpo libre

La carcasa tiene un peso de 45 Kg con centro de gravedad a 16 cm del extremo en que se atornilla ver figura 14 A, la estructura realizará un esfuerzo de tracción igual a 45 Kg y un momento de $45 \times 16 = 720 \text{ Kg} \times \text{cm}$.

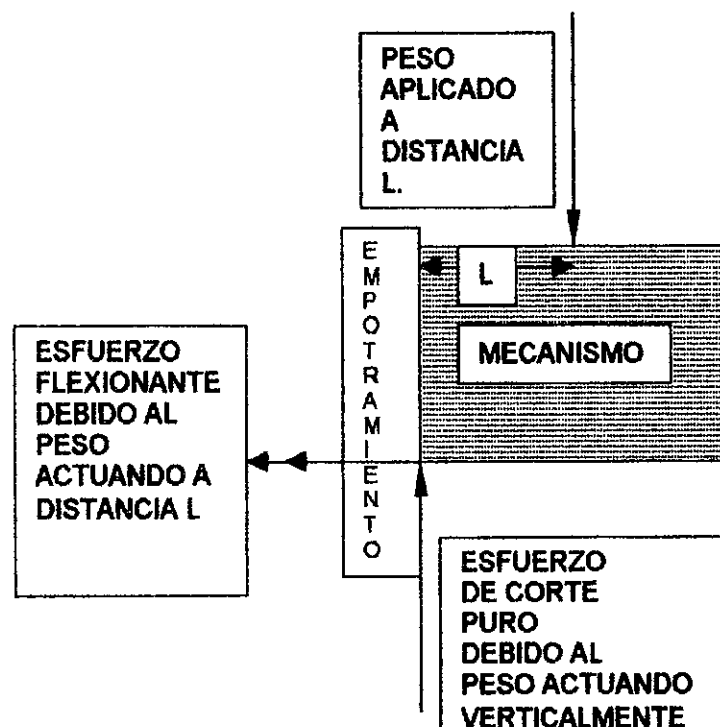
6.3. Diseño de estructura

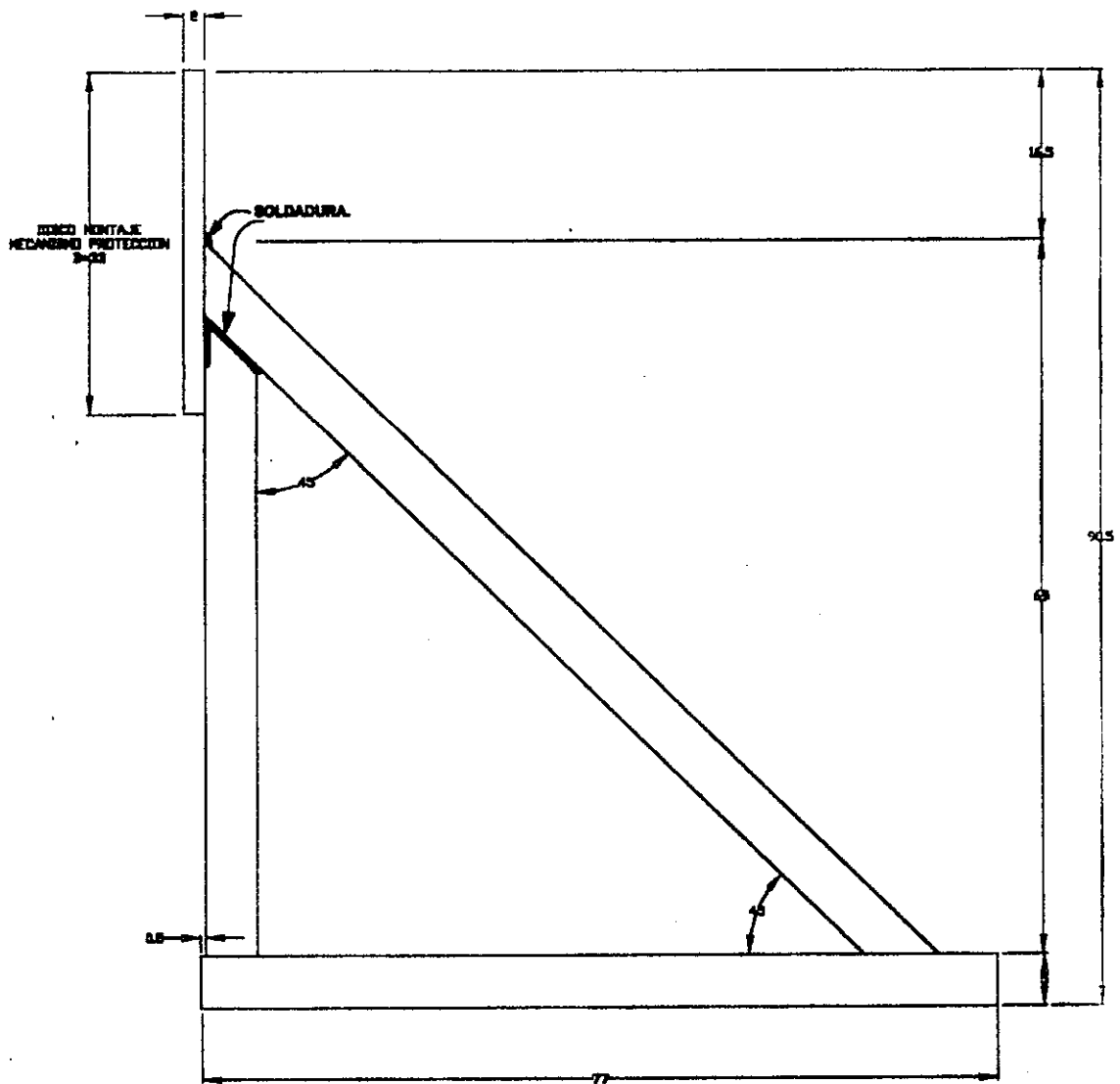
La base del anclaje al piso, es la que tenía la excitatriz dinámica, ver figura 3. Los tornillos utilizados en el montaje anterior para unir la carcasa del mecanismo de protección con la de la excitatriz, se utilizan para unir la carcasa del mecanismo al disco de montaje, el cual está maquinado al centro para no afectar el movimiento del eje del mecanismo, el diámetro del disco es de 33 cm. Este se une a la estructura con soldadura, la estructura se compone de

angulares que se extienden dos en dirección perpendicular con el piso y dos a 45 grados de la vertical esto para controlar el momento de torsión que produce el mecanismo, en el piso serán soldados a un marco que unirá los cuatro angulares, este se sujeta por medio de tornillos a la base de la excitatriz dinámica, las dimensionales y detalles se observan en las figuras 15 y 16, como se puede ver la estructura supera esfuerzo provocado por el peso del mecanismo pues la resistencia a tracción del acero 1045 es de $6000 \text{ Kg / (cm}^2\text{)}$, siendo 4 los angulares de 4.75 cm^2 de área cada uno tenemos un área total de $4 \times 4.75 = 19 \text{ cm}^2$ que nos da una resistencia de $19 \times 6000 = 114,000 \text{ Kg}$. Con lo que se supera el esfuerzo provocado por el peso de la carcasa.

6.4. Tratamiento superficial

La superficie de la estructura debe ser pintada, con un producto anticorrosivo de buena calidad y pintura con las características similares a la utilizada en el hidrogenerador, para mantener uniformidad en la casa de máquinas.





ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA CARCASA
DE MECANISMO DE PROTECCION ESCALA 1:7

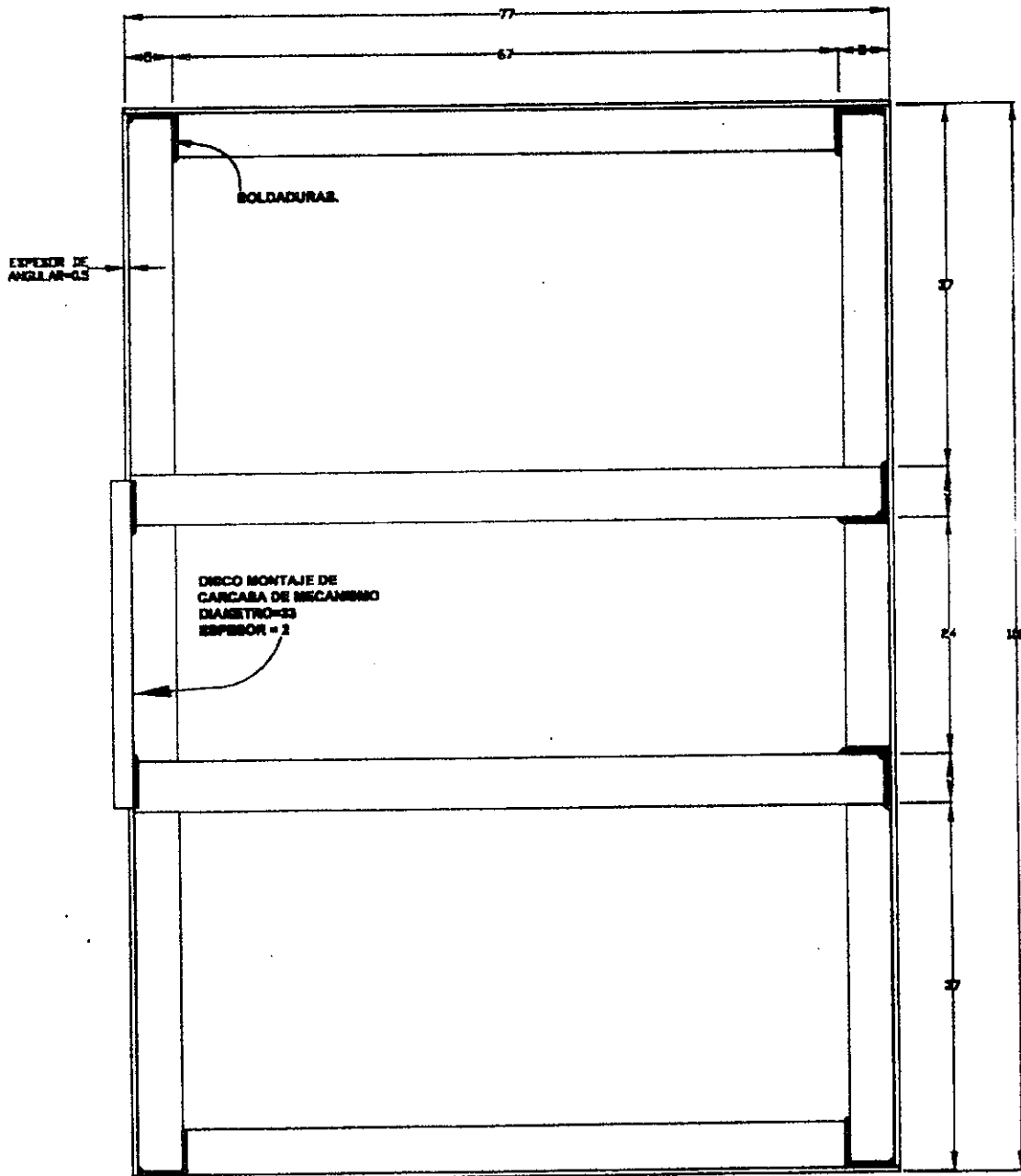
FIGURA 15
DIMENSIONES EN CENTIMETROS

JURUN MARINALA 5/02/99

ESTRUCTURA DE SOPORTE

VISTA LATERAL.

FRANCISCO DANIEL HERRERA P.



**ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA CARCASA DE MECANISMO
ESCALA 1: 0.8**

**FIGURA 16
DIMENSIONES EN CENTIMETROS**

JURUN MARINALA 5/02/99

ESTRUCTURA DE SOPORTE

PLANTA

FRANCISCO DANIEL HERRERA P.

7. MANTENIMIENTO DE MECANISMO DE PROTECCIÓN

Previo al montaje es necesario realizar mantenimiento correctivo para asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo y posteriormente cada 6 meses mantenimiento preventivo.

7.1. Procedimientos

El mantenimiento preventivo y correctivo, debe ser coordinado con el centro nacional de control de energía eléctrica, para no interferir el programa de flujo de energía del sistema nacional.

Cada año se realiza un programa de mantenimiento, el cual debe ser revisado y aprobado por el centro de control, 15 días antes se debe confirmar la fecha del mantenimiento.

7.2. Mantenimiento preventivo

Este comprende: revisión de estado de superficie, torque de tornillería de montaje y uniones de tubería oleohidráulica, funcionamiento de sistema manual de accionamiento y lubricación de varillaje de accionamiento manual y automático. A continuación se describen los pormenores del mantenimiento.

7.2.1. Revisión de Estado de superficie

Se debe buscar: corrosión, pintura en mal estado e imperfecciones superficiales.

7.2.2. Torque de tornillería de montaje y uniones de tubería oleohidráulica

La magnitud del torque depende de las características dimensionales y materiales de cada tornillo y tuerca, este se encuentra en tablas del manual de mantenimiento de la central hidrogenadora, se debe realizar con un torquímetro.

7.2.3. Funcionamiento de sistema manual de accionamiento de la protección

Este se lleva a cabo con la unidad hidrogenadora funcionando y accionando la manija de protección manual, con esta prueba se verifica el correcto funcionamiento de el flujo hidráulico en el circuito de protección y el procedimiento de paro de emergencia en el gobernador.

7.2.4. Lubricación de varillaje de accionamiento manual y automático

Este debe de realizarse en los puntos móviles, debe cuidarse de no exceder la cantidad aplicada.

7.3. Mantenimiento correctivo

Este comprende: las labores del mantenimiento preventivo, torque de tornillería interna, graduación de velocidad de accionamiento automático y verificación del funcionamiento del varillaje de accionamiento. Lo cual debe realizarse de la siguiente manera:

7.3.1. Torque de tornillería interna

Se realiza siguiendo el mismo procedimiento que en el mantenimiento preventivo.

7.3.2. Graduación de velocidad de accionamiento automático

Esta se lleva a cabo desmontando del hidrogenerador el eje y cilindro centrifugo y colocándolo en un torno graduado a la velocidad de disparo automático del mecanismo de protección (720 R.P.M.), se procede graduando la tensión del resorte limitador con el tornillo de graduación el correcto funcionamiento es que el cilindro centrifugo pivotee a la velocidad antes mencionada, alcanzando el gatillo de accionamiento automático.

7.3.3. Verificación del funcionamiento del varillaje de accionamiento

Con el mecanismo desmontado se procede a realizar accionamiento manual y automático (empujando el gatillo de accionamiento) y verificando que el varillaje no se atore y se ubique correctamente en sus posiciones normal y accionada.

7.4. Revisiones periódicas

Estas se realizan para mantener un buen índice de seguridad en el funcionamiento de el mecanismo de protección.

Debe realizarse una inspección minuciosa cada 15 días en el mecanismo y estructura de montaje para detectar imperfecciones de las mismas.

CONCLUSIONES

- 1. La incorporación del mecanismo de protección de sobre velocidad tipo Mecánico a los Hidrogeneradores de la Planta Jurún Marinalá es una prioridad de primer orden; es decir, de suma urgencia, ya que con ello se busca reducir la probabilidad de daño por sobre velocidad, a la vez que permitirá habilitar el disparo de emergencia manual en los hidrogeneradores, con lo cual se estará incrementando la confiabilidad de funcionamiento de los mismos. Con ello se espera evitar riesgos que puedan ocasionar grandes pérdidas económicas al INDE por reparaciones y tiempos muertos en el hidrogenerador.**
- 2. Para cumplir las especificaciones del hidrogenerador, el diseño del eje de montaje se basa principalmente en el pandeo y vibración, queda en segundo término el esfuerzo del material, como se puede observar en el capítulo 4. La causa de tomar este criterio, es la ubicación de la carga al extremo opuesto del acoplamiento del eje del montaje, como se observa en las figuras 7 y 12, que dan como resultado que el pandeo y vibración sean criterios críticos en el diseño.**

- 3. La superficie del eje y disco de montaje debe ser maquinada para dejarla libre de imperfecciones, las que a consecuencia del prolongado servicio a que se someten, aumentan de tamaño y producen fisuras en las estructuras, lo que técnicamente se conoce como fallas por fatiga, las cuales deterioran el mecanismo dejándolo inservible.**

- 4. El acoplamiento entre el eje y disco de montaje se realiza a través de soldadura; sin embargo, esto origina tensiones residuales por la solidificación del material de aporte y por el crecimiento del grano del material base, provocado por la alta temperatura de fusión del material de aporte, para evitar daños posteriores al acoplamiento se necesita que la estructura quede homogénea y eliminar las tensiones residuales, esto se logra sometiendo la estructura soldada a tratamiento térmico de normalización.**

- 5. Se necesita capacitar al personal de mantenimiento mecánico en el área de mantenimiento industrial, con lo que se aumentaría la confiabilidad de funcionamiento, la vida útil y la productividad de la planta.**

- 6. El programa de mantenimiento debe ser planificado con la finalidad de manejar eficientemente los recursos humanos, financieros y materiales para mejorar la confiabilidad en el funcionamiento de las máquinas y aumentar la vida útil de estas, lo cual elevaría la productividad del sistema.**

7. La falta de protección de sobre velocidad tipo mecánico, pone en evidencia la necesidad de realizar un estudio de riesgos en la planta Jurún Marinalá, con el cual se identificarían y se podrían prevenir estos y se reduciría la posibilidad de provocar pérdidas al INDE.
8. En la planta Jurún Marinalá se carece de un plan de contingencias, por lo que al presentarse éstas, se ignora la forma adecuada de enfrentarlas para reducir pérdidas financieras, personales etc. Lo que es un alto riesgo que al INDE afecta disminuyendo su productividad.
9. Hace falta un jefe del área mecánica en el sistema Jurún Marinalá con profundos conocimientos del área, para que se encargue de optimizar los recursos disponibles y los programas de mantenimiento en el sistema para elevar la productividad.

RECOMENDACIONES

- 1. Montar el mecanismo de protección para sobrevelocidad, lo antes posible, para que los hidrogeneradores estén totalmente protegidos de un posible deterioro y aumente la confiabilidad en su funcionamiento, con lo que el INDE reduce el riesgo de tener pérdidas financieras en cuanto a reparaciones, cesantía y pago de multas por incumplimiento de contrato en cuanto a venta de energía se refiere.**
- 2. Apegarse al presente texto para fabricar el montaje del mecanismo de protección, para evitar pérdidas económicas y deterioro en el hidrogenerador, lo que provocaría pérdidas cuantiosas a la Institución.**
- 3. Optimizar la programación y el control de mantenimiento en el sistema Jurún Marinalá, para aumentar la productividad del sistema Jurún Marinalá.**
- 4. El personal de mantenimiento mecánico debe capacitarse en las áreas de hidráulica, soldadura por arco eléctrico, máquinas herramienta y mantenimiento industrial, para elevar la eficiencia del personal del área mecánica del sistema.**
- 5. Supervisar los diseños mecánicos por un profesional en el área, para evitar pérdidas a la empresa.**

- 6. Estudiar los riesgos en el sistema Jurún Marinalá con asesoría de un profesional especializado en el área, para que el personal conozca la magnitud, localización y evasión de los riesgos en el sistema.**
- 7. Elaborar un plan de contingencias basándose en el estudio de riesgos, para informar al personal los pasos a seguir al presentarse estas, con lo que se reducirán las pérdidas para la empresa.**
- 8. Solicitar, por medio de la jefatura al departamento de capacitación, cursos sobre principios de productividad empresarial, para elevar los índices de ésta.**
- 9. Crear la plaza de supervisor de área mecánica en el sistema Jurún Marinalá pues se necesita un profesional dedicado a esta área para aumentar la productividad de la empresa.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **C. RUSSELL, Masson, El arte y la ciencia de la protección por relevadores, 1era. Edición, México: Editorial Continental: 1971.**
2. **Ibid., pp. 27 - 33**
3. **Ibid., p. 233.**
4. **Ibid., p. 270**
5. **EGOR P. Popov. Introducción a la mecánica de sólidos 6ª reimpresión México: Editorial Limusa, 1989.**
6. **SPOTTS, M.F. Proyecto de elementos de máquinas España: Editorial Reverté: 1976.**
7. **Ibid., pp. 140 - 142**
8. **Ibid., pp. 145 - 151**
9. **Ibid., pp. 159 - 169**
10. **Ibid., pp. 170 - 169**
11. **Ibid., pp. 624 - 629**

BIBLIOGRAFÍA

- 1 **A. MALISHEV, G. Nikolaiv, Y. S. Tecnología de los metales. 7ª. Edición, Moscú: Editorial Mir, 1987.**
- 2 **"American Iron and Steel Institute". Hand Book of Steel. 2da. Edición, Estados Unidos: Editorial AISI, 1971.**
- 3 **ANDERSON J.C. Ciencia de los materiales. México: Editorial Limusa, 1978**
- 4 **BRESLER Boris, Diseño de estructuras de acero, México: Editorial Limusa, 1970**
- 5 **ELECTRO-WATT Ingenieros consultores S.A. Manual para la operación de la Planta Jurùn Marinalá. Suiza: 15 de Diciembre de 1969.**
- 6 **FEIRER John L. Maquinado con maquinas herramientas. 2da. Edición, México: Editorial Continental, 1973**
- 7 **FERDINAND P. Beer y E. Russell Johnston, Jr., Mecánica vectorial para Ingenieros. 4ª edición México: Editorial de periódicos, S.C.L.1988.**

- 8 "HIDRO VEVEY S.A." **Regulador electrónico mipreg 520/S**, 1era. Edición, Suiza: 1993
- 9 HORWITZ P.E. Henry. **Soldadura**. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1984.
- 10 JENSEN, C.N. **Fundamentos de dibujo mecánico**. México: Editorial Centro Regional de Ayuda Técnica, 1971.
- 11 MORSE Frederick T, **Centrales eléctricas**, 3era. Edición, México: Editorial Continental, 1983
- 12 PASHKOV N.M. y F.M. Dolgadier. **Hidráulicas y máquinas hidráulicas**. Moscú: Editorial Mir, 1985.
- 13 POLO Encinas, Manuel. **Turbomáquinas Hidráulicas principios**. 3era. Edición México: 1983 Editorial Limusa.
- 14 STREETER Víctor L. E. Y Benjamín Wylie. **Mecánica de Fluidos**, 8ª. Edición, México: Editorial Mac Graw Hill, 1990.
- 15 VIEJO Zubicaray, Manuel. **Energía hidroeléctrica**. México: Editorial Limusa 1977.

- 16 **WATSON John and Dan Fyistra, Visual Basic, User's Guide, Estados Unidos: Microsoft Corporation, 1993.**
- 17 **ZOPPETI Juez Gaudencio, Centrales Hidroeléctricas, 5ta. Edición, México: Editorial Gili, 1982.**

APÉNDICE

1. PROGRAMA DE CÁLCULO DE ESFUERZOS

FORMULA PARA CALCULAR EL ESFUERZO DEL EJE EN FUNCION DEL RADIO.

Se trabaja en formato EXCEL 97, se toman las columnas A, B, D Y E INICIANDO EN LAS FILAS 1. Después de ingresar los datos de la tabla, se inicia colocando un valor en la casilla de valor de radio, y se obtiene el valor de esfuerzo flector y esfuerzo de corte, se busca el valor de radio que es de 6000 Kg./cm² en al casilla E4 de esfuerzo de flexión. Sabiendo que radio es inversamente proporcional al esfuerzo se ingresan valores hasta que se llega al valor de radio deseado (0.41494 cm). En el formato se obtienen también: el momento polar de inercia, inercia, el momento de flexión, el momento de torsión, el diámetro y radio calculados con factor de seguridad.

COLUM A	COLUMNA B	C. C	COLUMNA D	COLUMNA E
RADIO =	(AQUÍ VALOR RADIO)			=POTENCIA(B1,4)
	427.8		MOMENTO POLAR=	=(PI()*E1)/2
	=POTENCIA (B1,3)		INERCIA =	=(PI()*E1/4
	=B2/B3		MOMENTO DE FLEXION =	=(B6*E3)/B1
	=5.11/B1		MOMENTO DE TORSIÓN =	=(B11*E2)/B1
	=B4+B5		FACTOR DE SEGURIDAD=	3
	=35.01/B3		FACTOR DE SEGURIDAD=	3
	=POTENCIA(B1,2)		FACTOR DE SEGURIDAD=	0.75
	=6.79/B8			=E6*E4
	=0.157*B1			=(E7*E5)
	=B7+B9+B10+0.19			=POTENCIA(E9,2)
Esf. corte=	560 (sugerido ASTM)			=POTENCIA(E10,2)
				=E11+E12
				=POTENCIA(E15,0.5)
				=16*E14
				=E8*PI()*B12
				=E15/E16
			DIAMETRO C/FACT. SEG.=	=POTENCIA(E17,1/3)
			RADIO C/FACT. SEG. =	=E18/2