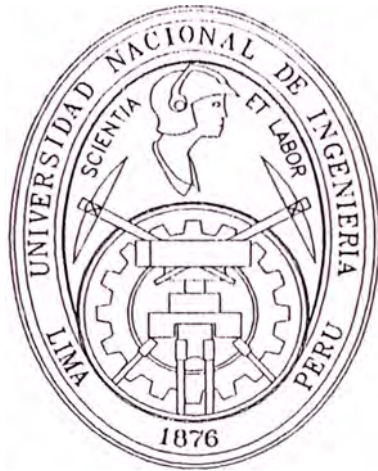


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



"EVALUACION DEL PROYECTO DE
UNA CENTRAL HIDROELECTRICA
DE 45 MVA"

INFORME DE INGENIERIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

DANTE ARIEL CARRILLO SALAS

PROMOCION 1994-I

LIMA - PERU
2000

DEDICATORIA

Dedico este informe en especial a mi esposa y a mis padres, por el soporte, paciencia y cariño que me brindaron, sin los cuales no hubiera sido posible la elaboración del presente Informe de Ingeniería.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
TABLA DE CONTENIDO	III
PRÓLOGO.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 2.....	4
ESTUDIO DE MERCADO ELÉCTRICO.....	4
2.1 SECTOR GENERACIÓN EN EL PERÚ	4
2.2 PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA	8
CAPÍTULO 3.....	11
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS E HIDROLOGÍA.....	11
3.1 CAUDAL DISPONIBLE.....	11
3.3 DURACIÓN DE FLUJO	18
3.4 ALTURA DISPONIBLE	19
3.5 ANÁLISIS DEL AGUA	20
3.6 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	22
CAPÍTULO 4.....	24
DESCRIPCION DEL PROYECTO	24
4.1 GENERALIDADES	24

4.1.1	UBICACIÓN	24
4.1.2	VÍAS DE ACCESO	25
4.1.3	CLIMA	25
4.1.4	CONDICIONES SÍSMICAS	26
4.1.5	GEOLOGÍA	26
4.2	PARTE ELÉCTRICA	27
4.2.1	GENERADOR	27
4.2.2	TRANSFORMADORES DE POTENCIA	56
4.2.3	PATIO DE LLAVES EN 138KV	63
4.2.4	SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y SINCRONIZACIÓN	70
4.2.5	EQUIPOS DE MEDICIÓN	75
4.2.6	SISTEMA SCADA	78
4.2.7	SISTEMA DE SERVICIOS EN AC	104
4.2.8	SISTEMA DE SERVICIOS EN DC	108
4.2.9	GENERADOR DE EMERGENCIA DIESEL (STAND-BY)	110
4.2.10	SISTEMA CONTRA INCENDIOS	112
4.3	PARTE MECÁNICA	117
4.3.1	TURBINA PELTON	117
4.3.2	GOBERNADOR	144
4.3.3	VÁLVULA DE ENTRADA PRINCIPAL	148
4.3.4	SISTEMA DE SECADO Y DRENAJE	156
4.3.5	SISTEMA DE AGUA DE REFRIGERACIÓN	157
4.3.6	PUENTE GRÚA	158
CAPÍTULO 5		163
EVALUACIÓN ECONÓMICA		163
5.1	DATOS INICIALES	163
5.2	CÁLCULO DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	165
5.2.1	BENEFICIO	165
5.2.2	COSTO	165

5.2.3	RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C).....	166
5.3	CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	168
5.4	CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	171
	CONCLUSIONES	172
	BIBLIOGRAFÍA	175
	PLANOS	176
	APENDICES	177

PRÓLOGO

El presente informe se ha estructurado en seis capítulos, siendo el primero de ellos la introducción, en el cual se detallan los alcances del proyecto. En el capítulo 2 se realiza un breve estudio de mercado con el fin de determinar la necesidad que satisfará el proyecto y determinar en forma inicial las posibilidades del proyecto. En el capítulo 3 se evalúan el potencial hídrico de la zona del proyecto incluyéndose información de importancia para el diseño civil y la programación de las actividades de construcción. En el capítulo 4 se describen los equipos que comprenden el proyecto mencionando sus características principales tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica. En el capítulo 5 se realiza la evaluación económica del proyecto. Finalmente en las conclusiones sobre la factibilidad del proyecto así como recomendaciones a tener en cuenta durante la ejecución del mismo.

Deseo agradecer a las empresas S&Z, COSAPI, ABB y a los ingenieros Tito Inope, Galo Cayo, Roberto Guerra, Luis Peschiera, José Barbe, Eduardo Soldano y de manera muy especial a mi padre el ingeniero Dante Carrillo Fiorani, quienes

durante mi ejercicio profesional me brindaron su apoyo y colaboración en todo momento.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el presente Informe de Ingeniería se presenta la evaluación de la factibilidad de una central hidroeléctrica de 45 MVA. El propósito de este trabajo es detallar los pasos y metodología empleada para la evaluación del proyecto así como el de describir el equipamiento electromecánico de la Casa de Máquinas y Patio de Llaves en 138 kV de la central.

No se desarrolla la parte de arquitectura ni civil de la Casa de Máquinas ni se trata sobre los trabajos que estuvieron a cargo de terceros tales como fueron la construcción y equipamiento de las bocatomas en los ríos Tarma y Yanango, la línea de transmisión de interconexión, los túneles desde las bocatomas hacia el túnel colector, el túnel de aducción, la tubería de presión, casa de válvulas, chimenea de equilibrio, ventanas.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE MERCADO ELÉCTRICO

El primer paso para poder determinar si el proyecto es factible es realizar un estudio de mercado. El estudio de mercado se debe basar en las diferentes proyecciones de la demanda de energía eléctrica para los años siguientes a la puesta en servicio de la central, considerando las nuevas centrales que entrarán en servicio en ese período y su participación en el mercado, basándose en la legislación vigente del sector, a la fecha de realizado el estudio.

2.1 SECTOR GENERACIÓN EN EL PERÚ

La generación hidroeléctrica ha sido históricamente la principal fuente de energía eléctrica en el Perú, dado que las singulares características de nuestra geografía han favorecido su desarrollo. La explotación del recurso hídrico para la generación eléctrica posee muchas ventajas sobre otras formas de generación. Las centrales hidroeléctricas poseen bajos costos de mantenimiento y operación, además debido a que no utilizan combustibles fósiles o nucleares, y no generan altas temperaturas en el proceso de transformación de la energía

mecánica en energía eléctrica no producen sustancias contaminantes del medio ambiente. Las centrales hidroeléctricas poseen un alto factor de disponibilidad llegando a ser en algunos casos incluso mayor al 95%. Los equipos son relativamente simples de operar y mantener, requiriendo de menor número de personal para efectuar las tareas de mantenimiento, comparado con el requerido para operar y mantener una central térmica o nuclear. Otras de las ventajas de las centrales hidroeléctricas son que poseen una larga vida útil y el que su alto factor de inercia les permite absorber fluctuaciones de carga aumentando la flexibilidad del sistema, pudiendo ser empleadas para la regulación de la frecuencia del sistema.

Su desventaja comparativa frente a las centrales térmicas (especialmente turbinas a gas o plantas de ciclo combinado) es que requieren de una alta inversión inicial, pues involucran obras grandes de infraestructura, y un tiempo de construcción mucho mayor que el de las centrales térmicas.

El sector de generación peruano está constituido principalmente por centrales de generación hidroeléctrica y centrales de generación térmica (turbinas de vapor, gas operando con petróleo, a partir del 2001 turbinas a vapor usando como combustible carbón) En el Perú la capacidad instalada de las centrales hidroeléctricas ha sido por mucho tiempo mayor que la capacidad instalada de las centrales térmicas. Esta tendencia histórica se ha ido revertiendo en las décadas pasadas, por ejemplo, en 1970 las centrales hidroeléctricas representaban el 55% de la capacidad instalada y las centrales térmicas el 45%

mientras que en 1998 las centrales hidroeléctricas representaron el 47% y las térmicas el 53% del total de la capacidad instalada. Esto se debe inicialmente a que por efectos de las actividades terroristas y la consecuente falta de seguridad en el suministro eléctrico, muchas empresas y el mismo estado se vieron forzados a invertir en plantas térmicas de generación para garantizar el suministro. Posteriormente al liberarse el mercado de venta de energía eléctrica en Perú siguió la tendencia mundial, generándose contratos de suministro de energía con clientes privados en los que se incluyen fuertes penalidades por el incumplimiento del suministro de energía, obligando a las empresas generadoras a invertir en centrales de generación alternativas como lo son las térmicas para garantizar el suministro de energía independientemente de los factores climáticos que se puedan presentar.

A pesar de que la proporción de capacidad instalada aparentemente indicaría que las generación térmica tiene una mayor participación en el mercado esto no es necesariamente cierto. Esto se puede comprobar comparando los valores de venta de energía de centrales hidroeléctricas con los de las centrales térmicas donde se tiene que en 1998 las centrales hidroeléctricas tienen una participación del 74% y las térmicas del 26% del total de la venta de energía. Sin mencionar que parte de la energía generada en centrales térmicas corresponde a sistemas aislados autogeneradores.

Dado que las centrales térmicas dependen en fuerte medida de los precios de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas, sus costos de operación no

les permite competir con centrales hidroeléctricas, haciendo que el costo marginal de las centrales térmicas sea muy alto para poder competir en un mercado libre con las hidroeléctricas, por ello las empresas de generación siguen apostando por la generación hidroeléctrica en nuestro país, manteniendo una capacidad instalada de generación térmica de respaldo. Prueba de lo anterior son los diversos proyectos de inversión en generación hidroeléctrica (los principales son Cheves y Platanal que suman aproximadamente 800 MW) que se mantienen en compás de espera desde que se suspendiera el otorgamiento de concesiones definitivas para centrales hidroeléctricas en 1999, con el propósito de hacer mas atractiva la inversión en el proyecto del gas de Camisea.

Cabe notar que en el Sistema Interconectado Centro Norte la participación de las centrales hidroeléctricas es incluso mayor. Por ejemplo la producción de las empresas generadoras integrantes del COES –SICN ha llegado a alcanzar valores cercanos al 90% de la producción total de energía en el SICN. Esto reafirma la tendencia hacia la generación hidroeléctrica del sector particularmente en el SICN, al cual abastecerá la central en evaluación.

2.2 PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Durante los primeros años de la década del 1990, el crecimiento en el consumo de energía se ha venido recuperando en forma acelerada.

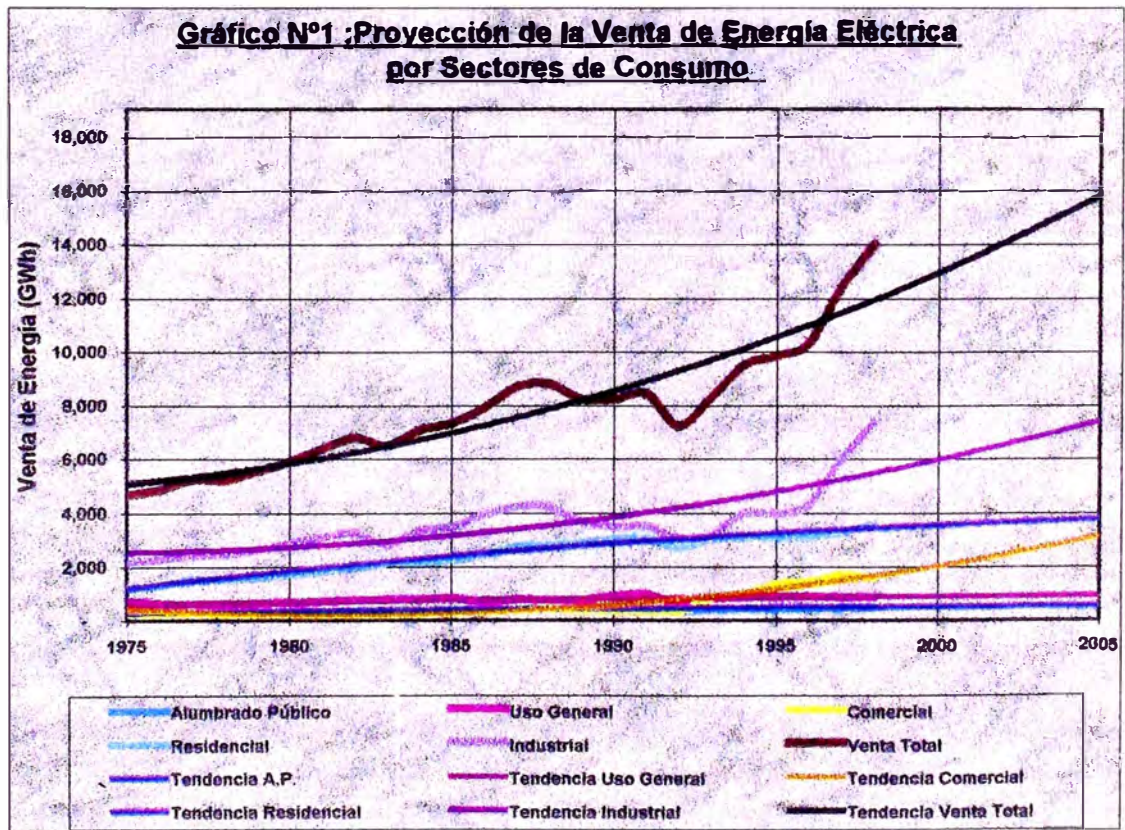
De los gráficos que se muestran a continuación se aprecia que para los años posteriores a 1996, las perspectivas de crecimiento de las ventas de energía eléctrica eran muy promisorias, con una tasa de crecimiento aproximada del 5% (mas de 500 GW-h por año). Si consideramos que en 1997 la venta de energía aumentó mas de 2,000 GW-h y en 1998 mas de 1,500 GW-h esta proyección es aparentemente conservadora, siendo el consumo industrial es el que presenta mayor incremento y que el consumo comercial se recupera con respecto al residencial de manera apreciable, siendo ambos indicadores de una economía en franco crecimiento.

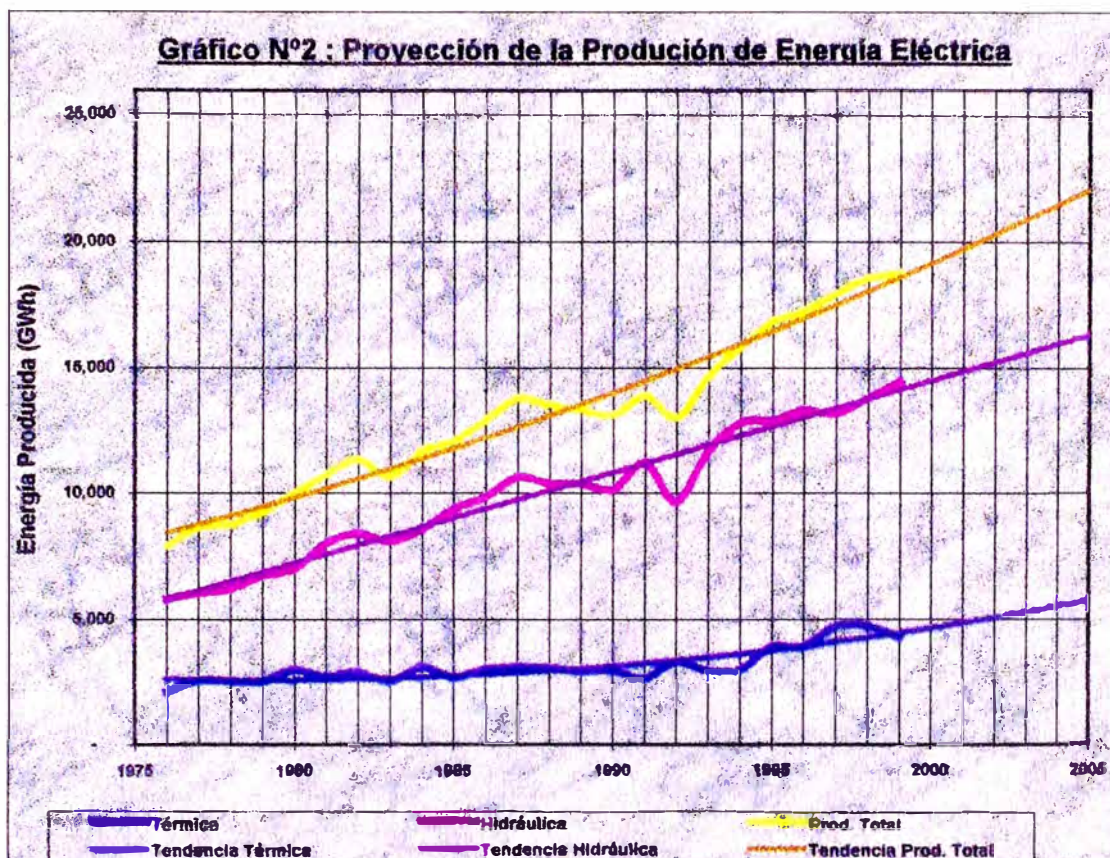
Según estima la central generará 285 GW-h anuales a partir del año 2000. Para ese entonces el incremento del consumo de energía eléctrica habría aumentado en mas de 2,200 GW-h, y los proyectos de centrales que entrarían en operación en esos años, suman aproximadamente 440 MW de nueva capacidad instalada (para el año 2000) incluyendo esta central.

Asimismo se hace la notar que la central térmica de ETEVENSA bajó su producción de 618 GW-h en 1995 a 281 GW-h en 1996, y que esta tendencia a

la baja en la participación de las centrales térmicas tiende a acentuarse en la medida que precio internacional del petróleo se recupere, haciendo cada vez mas difícil el despacho de energía de centrales térmicas.

A continuación se muestran gráficos en los que se presentan las tendencias del consumo y la oferta de generación según los datos estadísticos del INEI y haciendo la proyección al 2005.





De estos gráficos se puede ver que el consumo de energía eléctrica en el país efectivamente tendría un crecimiento no menor al 5% anual, apoyando la inversión en ese sector, especialmente en hidroeléctricas pues la capacidad instalada térmica ya alcanzó niveles suficientes de respaldo en caso de presentarse periodos de sequía.

CAPÍTULO 3

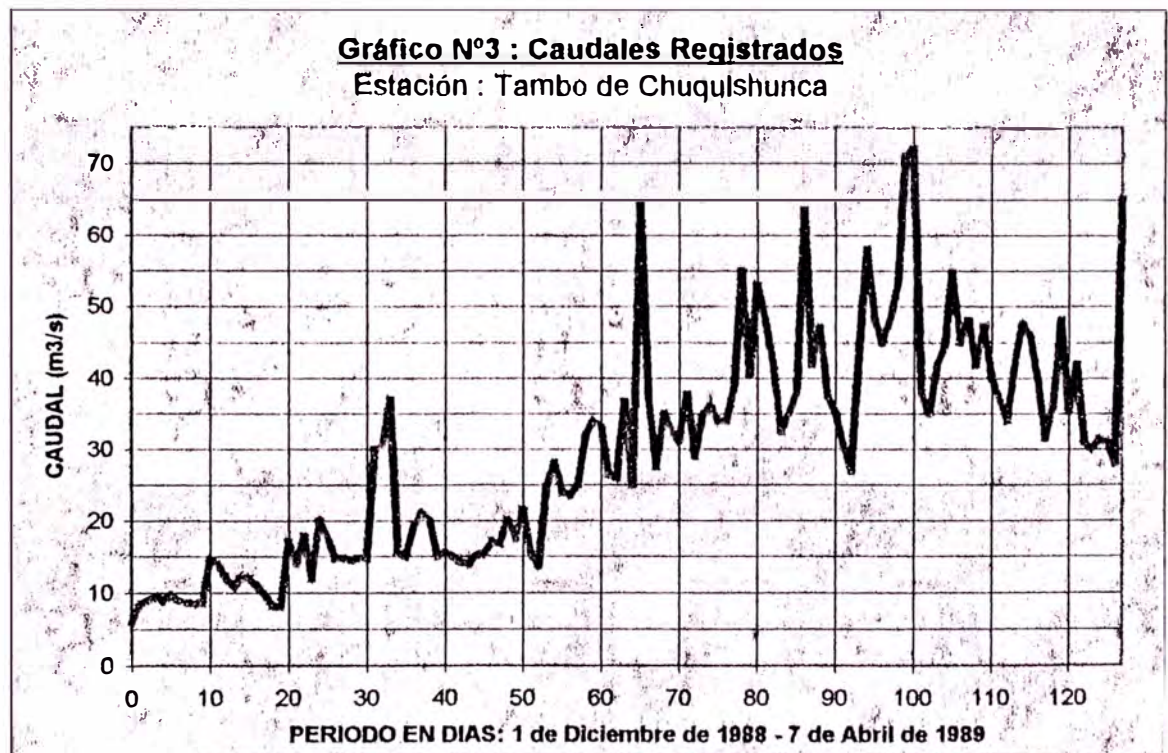
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS E HIDROLOGÍA

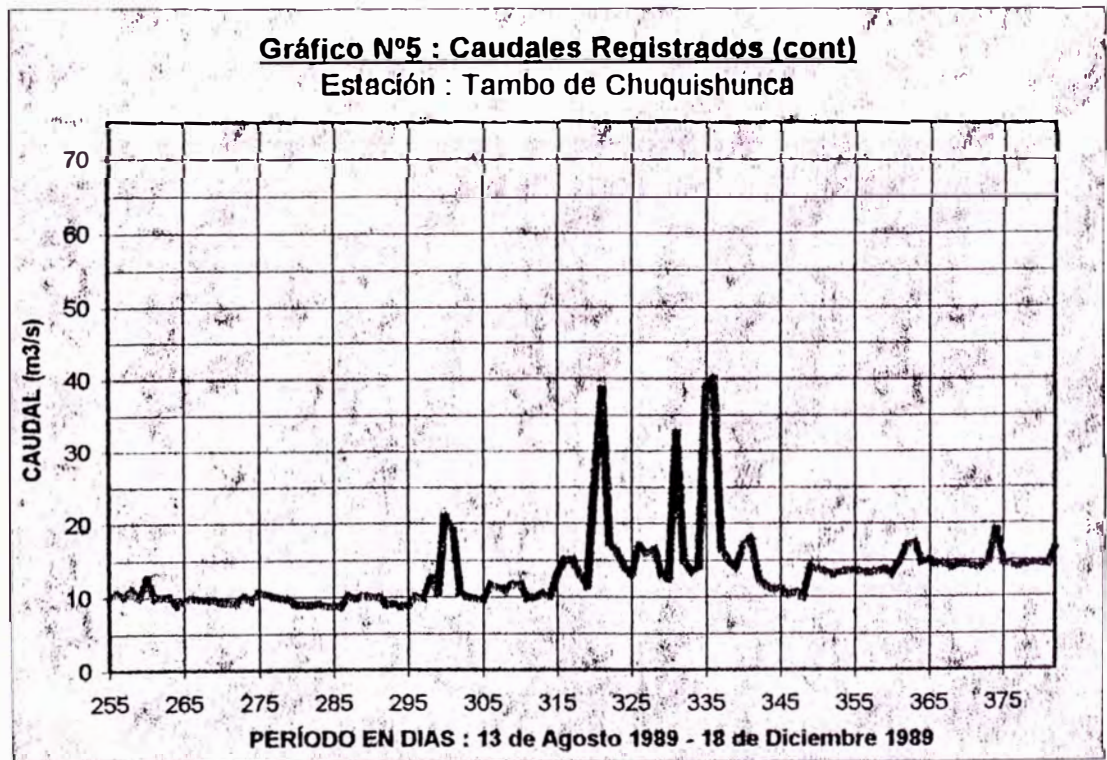
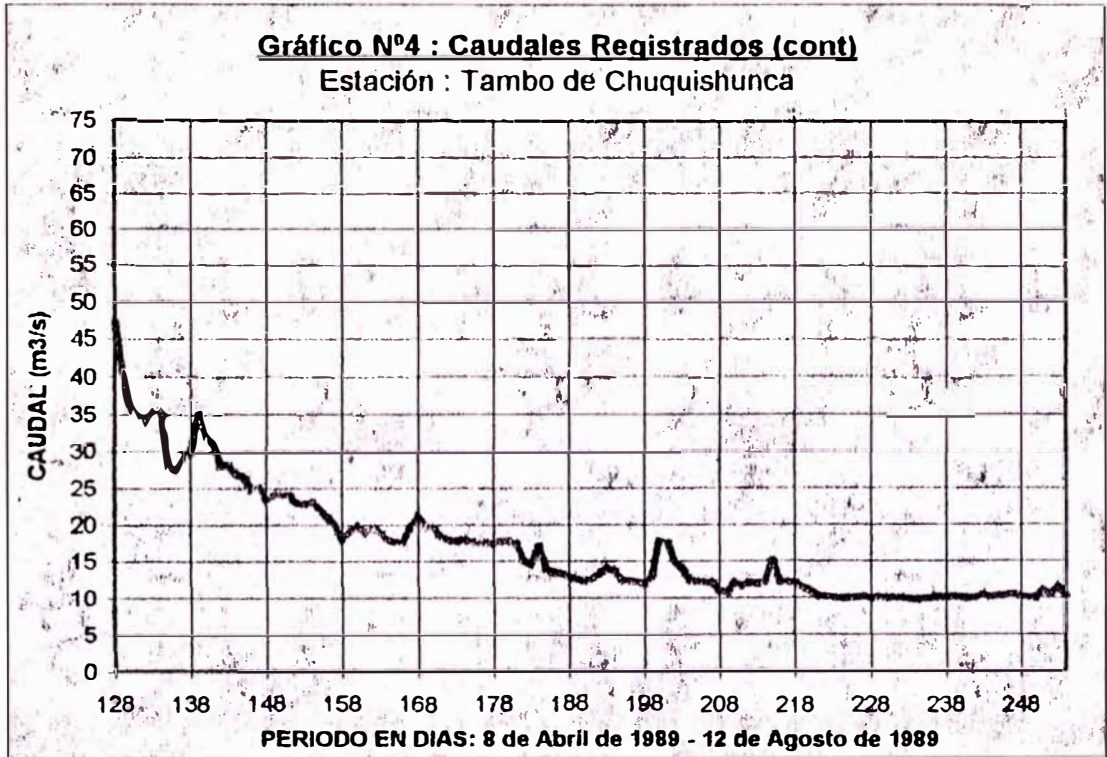
3.1 CAUDAL DISPONIBLE

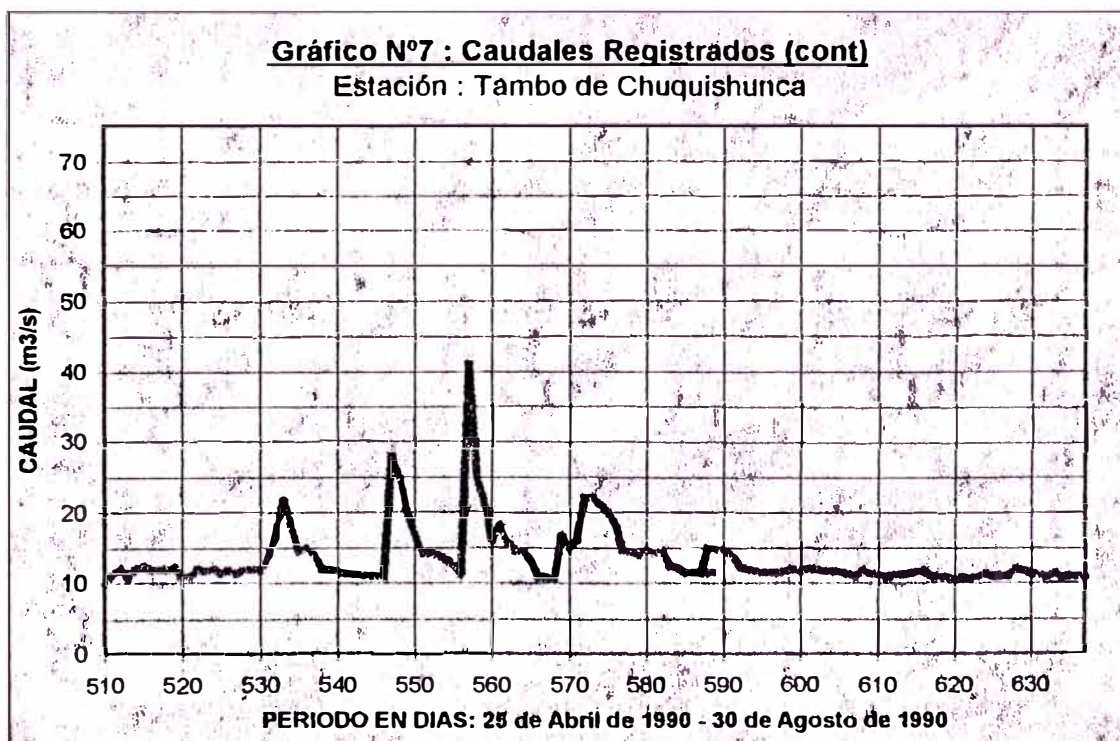
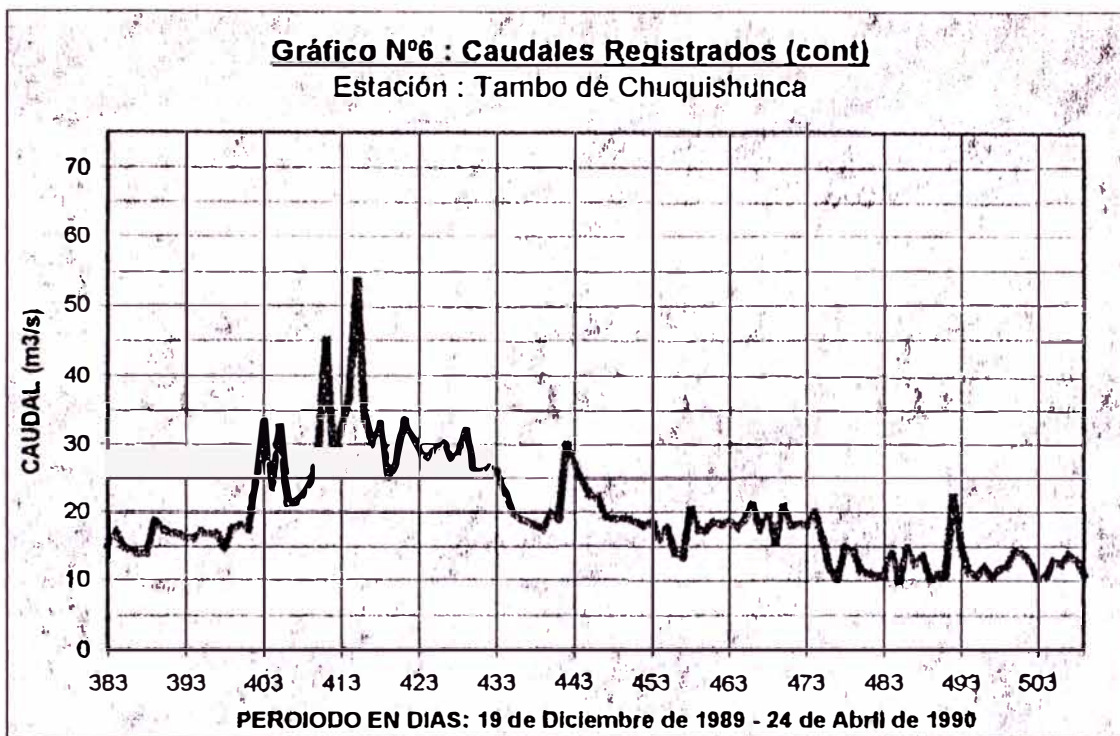
Siendo esta una central de paso, el agua disponible para la generación de energía eléctrica es solamente la de la descarga instantánea disponible a través de las tomas de derivación o la existente en los canales de transporte. La planta se ha diseñado para operar eficientemente dentro del rango de descargas de los ríos, siendo el caudal mínimo esperado de $7 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo superior a los $20 \text{ m}^3/\text{s}$. En la quebrada de Yanango el caudal mínimo esperado para la época de estiaje oscila entre $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y en tiempo de lluvias el caudal supera los $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ pudiendo alcanzar incluso valores mucho mayores.

En el río Tarma sin embargo se pueden esperar caudales mínimos de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximos superiores a los $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver cuadro de caudales medios Río Tarma).

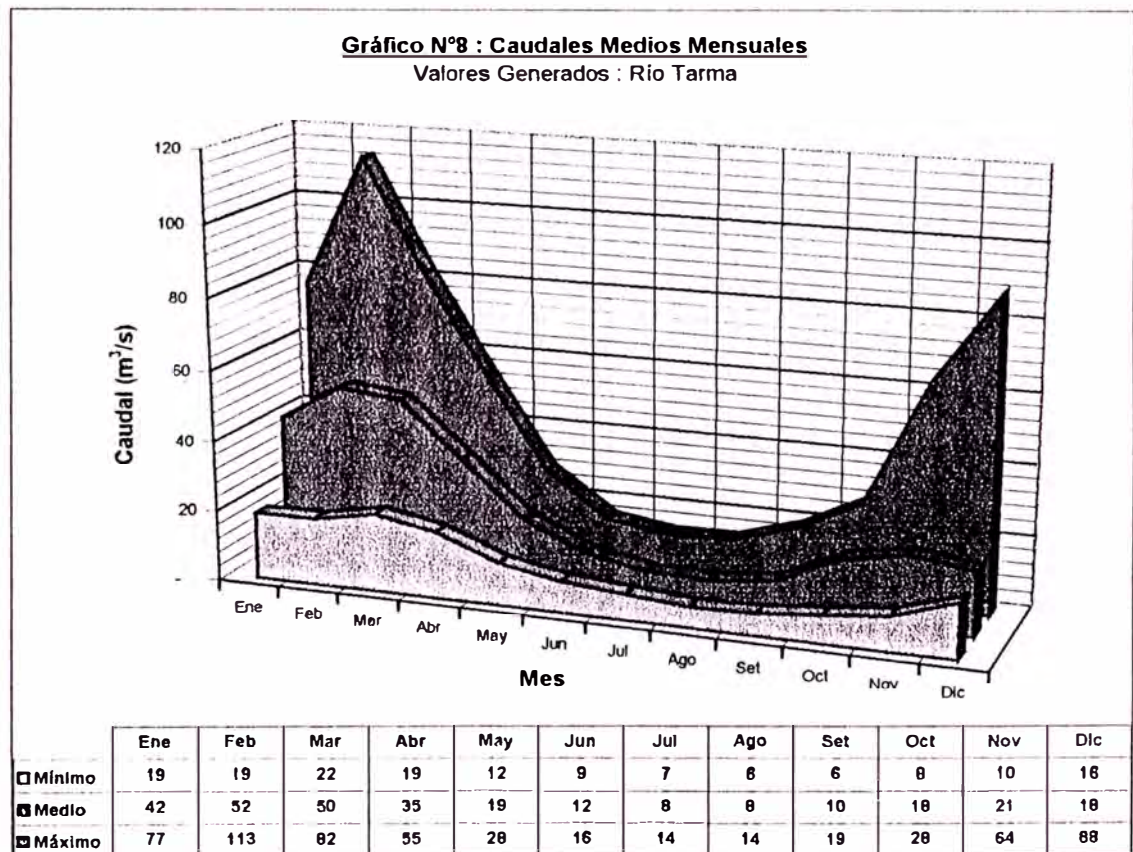
Se ha estimado el caudal promedio empleando los registros de caudales entre Diciembre de 1988 y Agosto de 1989 encontrándose que el caudal promedio diario durante en este periodo fue de $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$.





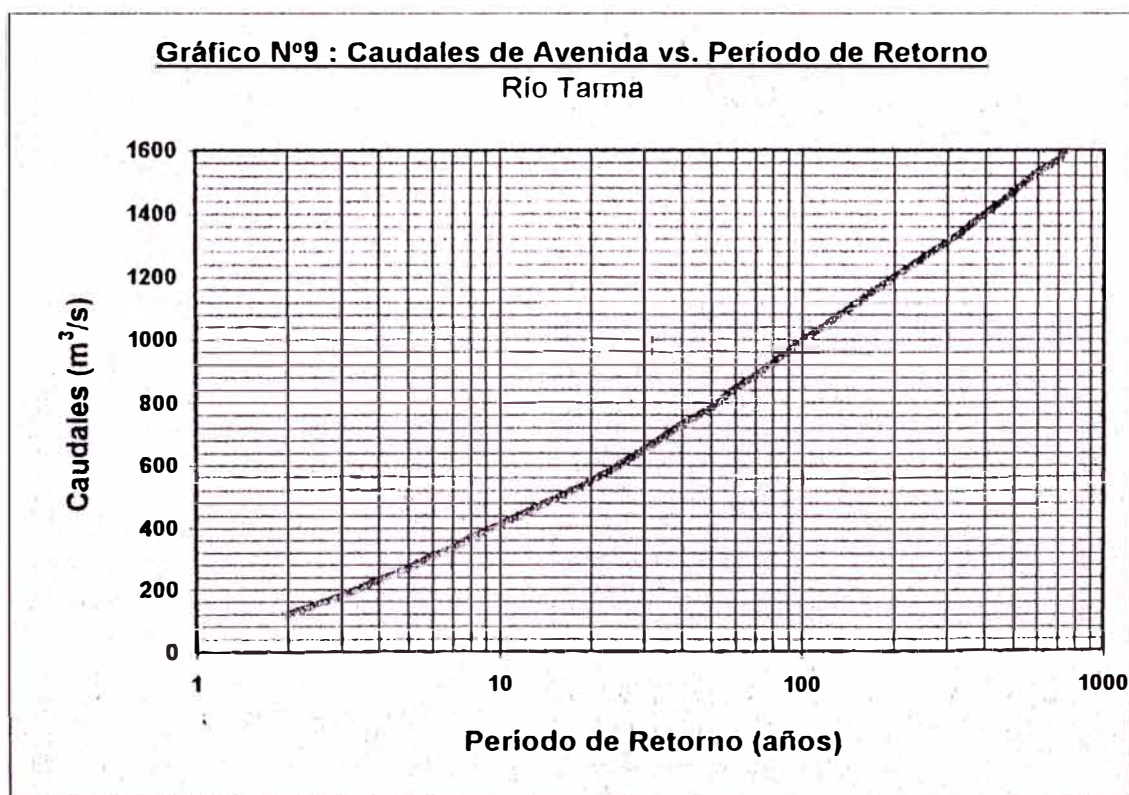


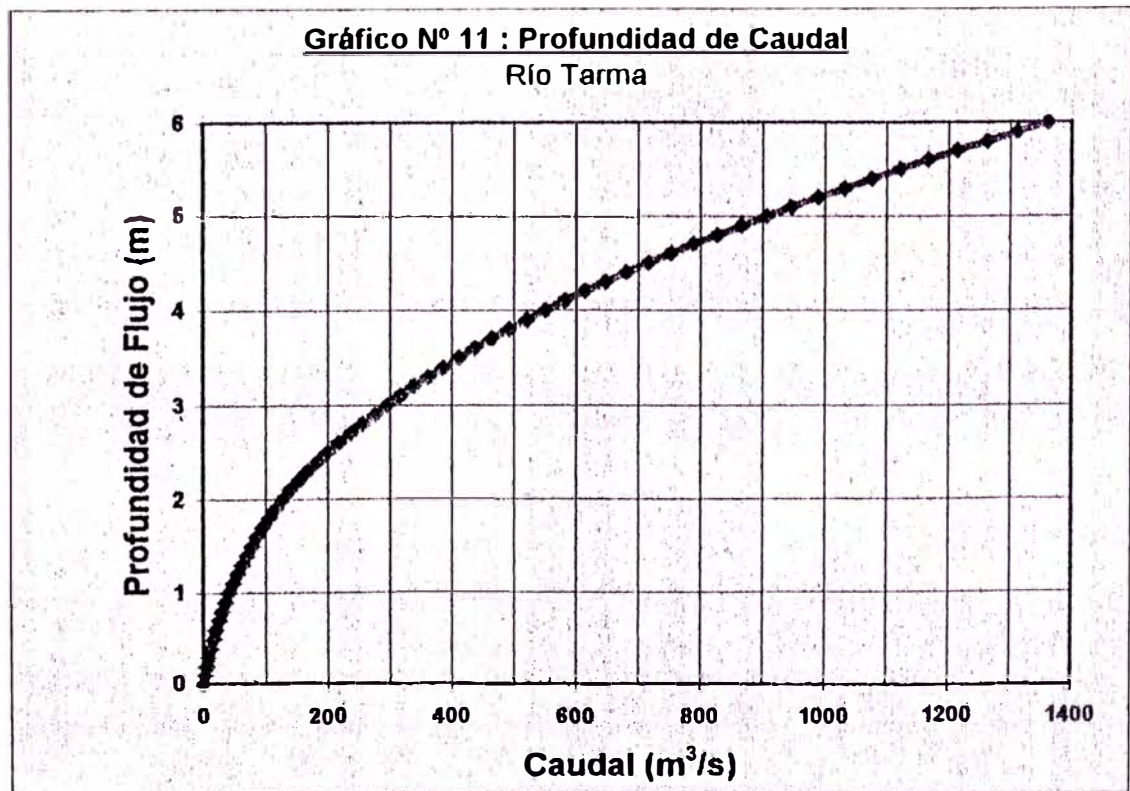
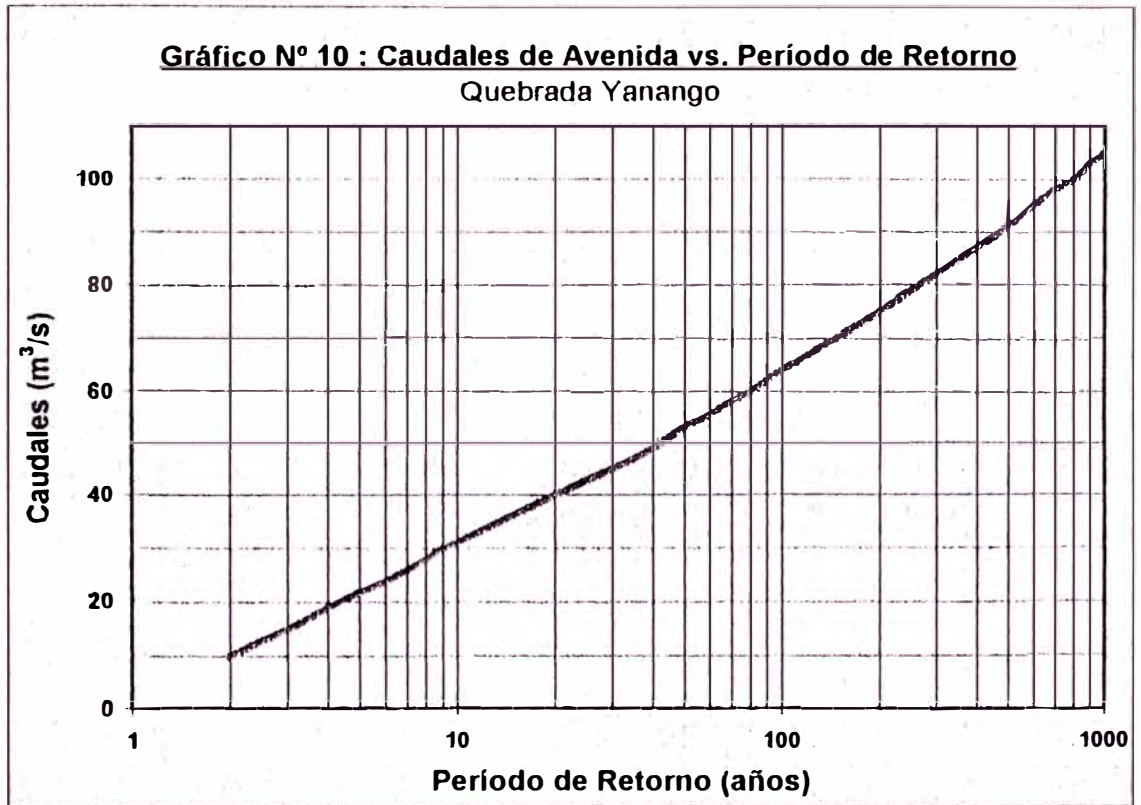
Asimismo se tiene información generada de los caudales mínimos, medios y máximos registrados para el río Tarma, de los cuales se desprende que el caudal mínimo mensual esperado para el río Tarma es de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal promedio mensual de $21 \text{ m}^3/\text{s}$.



3.2 CAUDALES DE AVENIDA Y PROFUNDIDAD DE CAUDAL

A continuación se presentan cuadros que grafican los caudales de avenida y su tiempo de repetición estimado, así como un cuadro que muestra la profundidad del caudal que se puede presentar para diversos caudales de avenida.

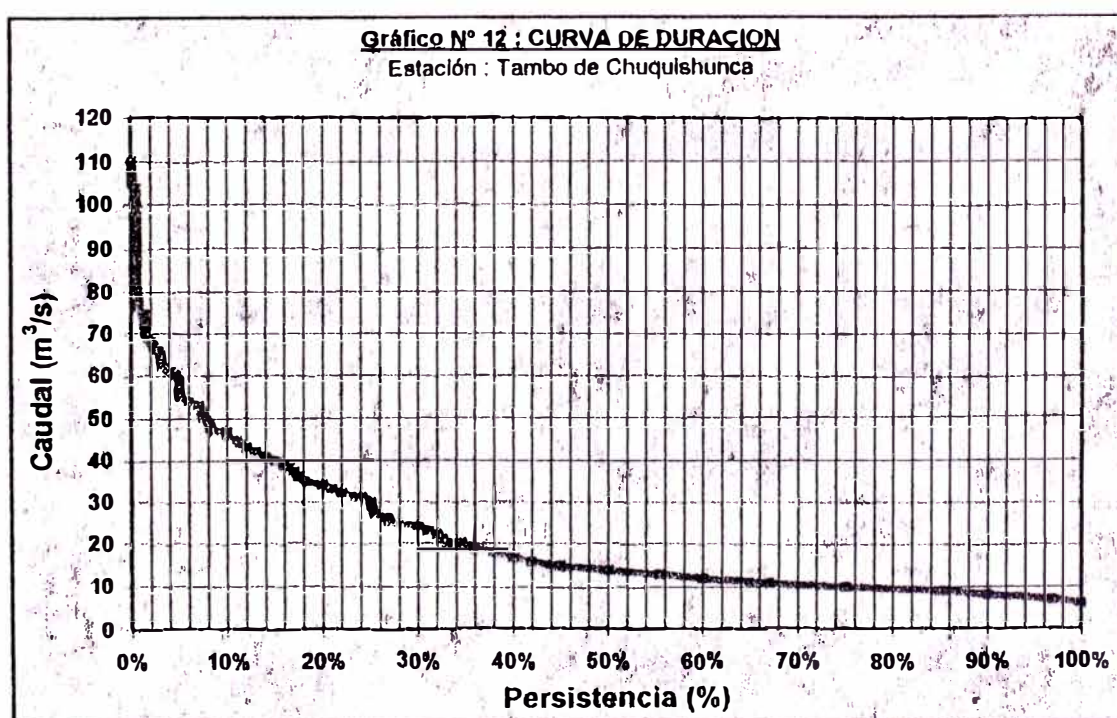




3.3 DURACIÓN DE FLUJO

En el gráfico que a continuación se presenta muestra el flujo disponible para la generación de energía eléctrica versus el tiempo como porcentaje anual que se dispone de este flujo. Con esta información se puede establecer la capacidad de generación anual de la unidad y tomar en cuenta esto para los criterios de diseño que potencien la eficiencia para los caudales mas frecuentes que se presentan durante el año.

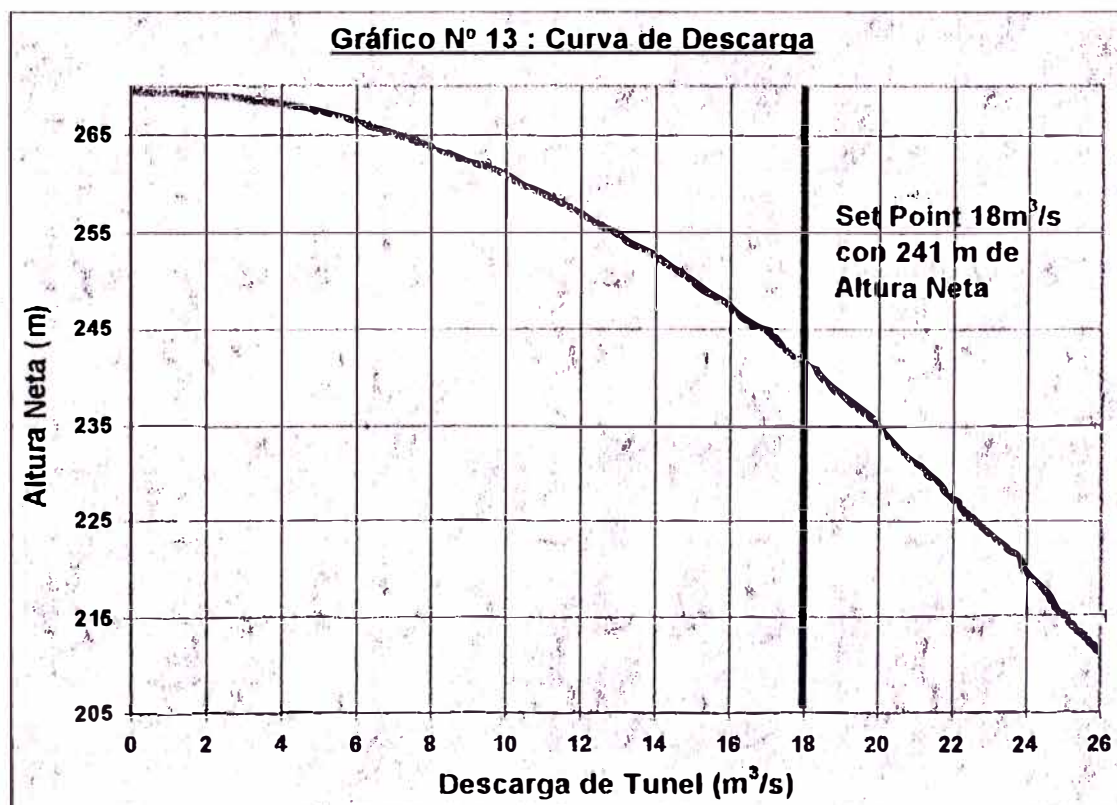
Del gráfico se puede apreciar que se puede esperar un caudal de 18 m³/s aproximadamente el 37% del tiempo y uno de 9 m³/s o mayor a el 97% del tiempo según la información estadística de la región.



3.4 ALTURA DISPONIBLE

Según la información disponible resultado de estudios previos en base a una turbina Pelton, se estimó que se obtendría una altura bruta máxima de agua de 270 m. Basados en estos datos y los cálculos preliminares de los canales de agua, la altura neta en la descarga sería aproximadamente de 241 m para un caudal de $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

A continuación se muestra la curva generada de Altura versus Descarga aproximada estimada.



3.5 ANÁLISIS DEL AGUA

Los ríos Tarma y Yanango transportan, como otros ríos de la región, una cantidad significativa de sedimentos en suspensión, siendo 1.08 gr/l la máxima concentración registrada en el río Tarma. En la siguiente tabla se presentan las concentraciones de partículas en suspensión del río Tarma comparado con la de otros ríos.

Nombre de Río	Concentración (gr/l)			Promedio Anual
	Diciembre	Marzo	Abril	
Tarma	0.05	0.07	0.23	0.12
Santa	0.23	2.67	1.32	1.40
Mantaro	0.10	0.40	0.08	0.19
Pativilca	0.94	2.70	1.90	1.85

En cuanto a las dimensiones de las partículas en suspensión, presentan la siguiente distribución por tamaño.

Diámetro en mm	% de partículas mayores
0.200	7
0.150	18
0.100	40
0.050	62
0.025	85

El análisis del contenido de minerales de las partículas en suspensión mostró que el 30% de las partículas diámetros mayores a 0.2 mm esta compuesta por minerales duros como el cuarzo, y que este porcentaje es de hasta 50% para las partículas mas finas.

Los desarenadores deben estar diseñados para remover todas las partículas de diámetros mayores de 0.25 mm.

3.6 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

La información pluviométrica es de gran utilidad para la etapa de diseño civil de las estructuras y edificios para la definición de los niveles de los mismos, y para el diseño de los drenajes de lluvia de la central. Brinda además información útil para la programación de las actividades de transporte y construcción que se pueden ver seriamente afectadas por un mal planeamiento con la consecuente pérdida de tiempo y pudiendo ocasionar la pérdida de materiales, equipo e incluso poner en riesgo la vida del personal.

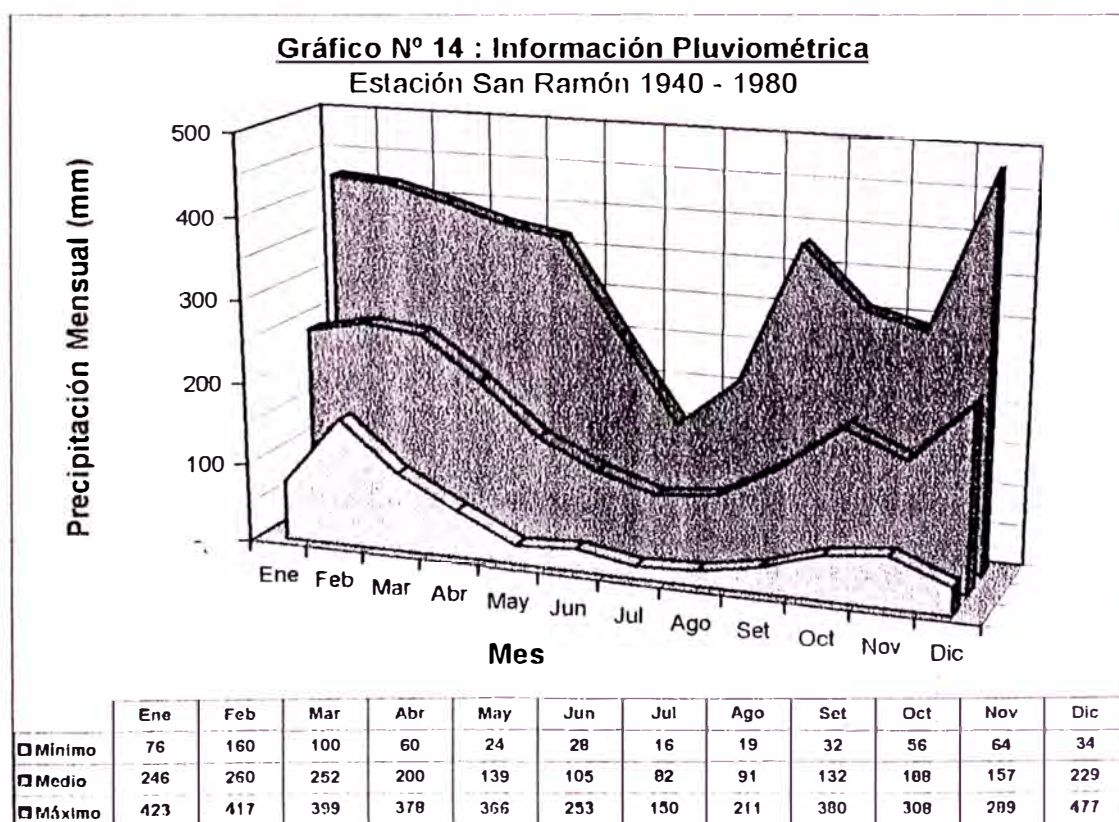
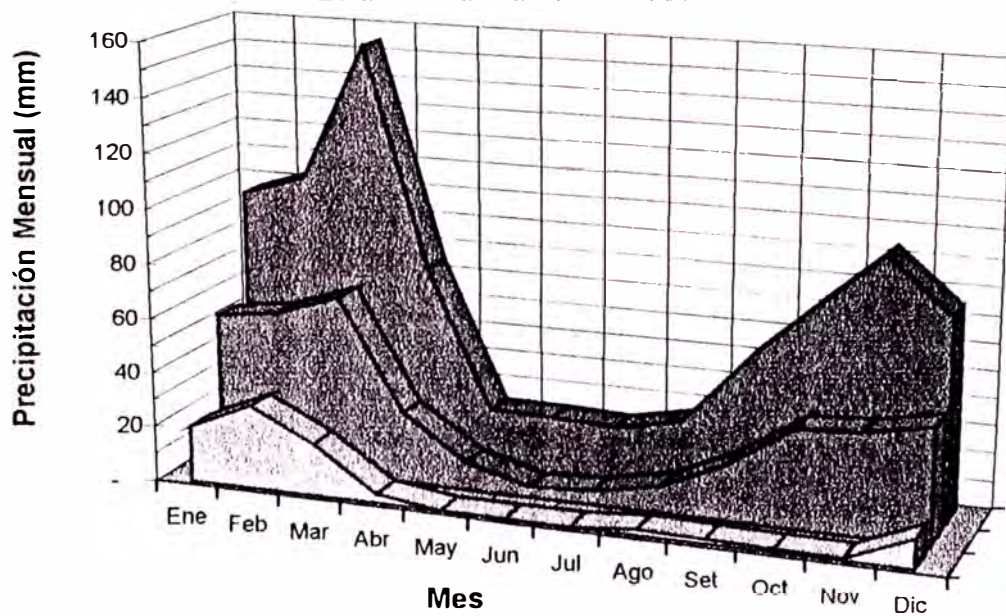


Gráfico N° 15 : Información Pluviométrica

Estación Tarma 1964 - 1983



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
□ Mínimo	20	30	19	3	-	-	-	2	2	1	1	11
▒ Medio	56	59	67	26	10	4	5	10	20	35	37	41
■ Máximo	98	104	154	74	23	22	21	26	52	73	93	74

CAPÍTULO 4

DESCRIPCION DEL PROYECTO

4.1 GENERALIDADES

(ver plano N° ME – 001)

4.1.1 UBICACIÓN

La Central Hidroeléctrica de Yanango se ubica en la margen derecha de la descarga hacia la cuenca amazónica del río Tarma. Está ubicada a 20 Km. aguas arriba de la ciudad de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, a aproximadamente 200 Km. al este de la ciudad de Lima. La casa de máquinas de la central se encuentra ubicada a aproximadamente 1,500 m.s.n.m. El ancho promedio del lecho del río es de aproximadamente 20 m y con una pendiente natural de 4%. El área elegida para la construcción de la casa de fuerza y patio de llaves permite el acceso de equipo y maquinaria para su construcción.

4.1.2 VÍAS DE ACCESO

La principal vía de acceso a la zona del proyecto es por la Carretera Central partiendo de Lima vía La Oroya, y luego tomando la desviación hacia Tarma y San Ramón. Existe una vía de ferrocarril que parte de Lima se dirige hacia Cerro de Pasco pasando por La Oroya.

El puerto más cercano a la zona del proyecto es el puerto del Callao. El aeropuerto internacional más cercano es el de Lima existiendo asimismo un aeropuerto local en San Ramón. La principal vía de acceso para el transporte de maquinaria y equipo pesado es pues la carretera central.

4.1.3 CLIMA

La temperatura máxima y mínima normal en la zona es de 27 y 20 °C respectivamente, con una precipitación promedio anual de 2100 mm con un máximo diario de 16 mm. La temporada de lluvias se da entre los meses de Octubre y Marzo, con poca o ninguna precipitación durante los meses de Julio y Agosto (ver 3.6 Información Pluviométrica). La zona del proyecto se encuentra clasificada como Zona II (vientos de hasta 75km/h), y la intensidad del viento medida es en promedio de 20 Km./h dirección Noroeste (para efectos de diseño es usual afectar el valor máximo por un factor de seguridad).

4.1.4 CONDICIONES SÍSMICAS

El Perú es un país ubicado en una zona de actividad sísmica, existiendo una alta probabilidad de que un terremoto de grandes proporciones ocurra en la zona del proyecto durante la vida útil de la Central Hidroeléctrica. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta principalmente por los encargados del diseño de la parte civil y de estructuras, tanto para los edificios como para los túneles, tuberías, líneas de transmisión, así como para la cimentación de las máquinas.

4.1.5 GEOLOGÍA

La central se ubica cerca de donde la roca firme se sumerge en forma empinada hacia el cause del río. Tanto el patio de llaves, como la casa de máquinas se ubican sobre zonas de depósitos aluviales profundos.

4.2 PARTE ELÉCTRICA

4.2.1 GENERADOR

Todas las partes del generador deben ser diseñadas y construidas para soportar en forma segura no solamente las cargas y esfuerzos a los que es sometido durante su operación normal y durante fallas (ver plano N° IE – 001).

4.2.1.1 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL GENERADOR

Número de unidades	1
Tipo	Vertical
Número de polos	28
Potencia Nominal a la salida	45 MVA
Factor de potencia nominal	0.85
Voltaje nominal ($\pm 5\%$)	10 kV
Corriente nominal	2,598 A
Frecuencia nominal	60 Hz
Número de fases	3
Velocidad Nominal, en rpm	257,14
Velocidad de embalamiento, en rpm	470
Relación de cortocircuito	1.08

Clase de aislamiento (estator / rotor)	F / F
Sistema de refrigeración	Aire / Agua
Grado de protección	IP24

Elevación de la temperatura al voltaje nominal o al $\pm 5\%$ del voltaje nominal y a la frecuencia y factor de potencia nominal (temperatura del agua de refrigeración no mayor de 25 °C y temperatura del aire de refrigeración no mayor a 40 °C)

- Arrollamiento del estator 75 K
- Arrollamiento del rotor 80 K

Momento de inercia (I), en kg.m ²	250,000
Voltaje de excitación	230 V
Corriente de excitación	430 A

Pesos aproximados

- Estator 66
- Rotor 100
- Total 200
- Peso máximo para transporte 65
- Peso máximo para montaje 100
- Peso máximo para mantenimiento 100

4.2.1.2 ESTATOR

El estator consiste de una carcasa con enfriadores en su periferia, el núcleo laminado en su interior, con ductos radiales de aire y el bobinado de barras en las ranuras. Además, el estator soporta el cojinete superior, la plataforma superior y los aisladores de las barras colectoras de las fases y de la conexión del neutro del generador.

4.2.1.2.1 Elementos de la Fundación

Los elementos de la fundación son estructuras hechas de vigas cajón de acero que van empotradas en el concreto de cimentación y fijadas a la cimentación por medio de pernos de anclaje. Estos elementos están uniformemente distribuidos en la periferia de la fosa.

La carcasa del estator y los extremos exteriores de los brazos de las ménsulas se empernan a estos elementos. Como consecuencia, ellos soportan y transmiten a la cimentación todos los pesos y fuerzas resultantes, no solo del generador entero sino también de las partes rotativas.

4.2.1.2.2 Carcasa del Estator

Es una estructura poligonal soldada hecha de planchas de acero pesado reforzadas con listones que también actúan como placas de desviación para canalizar el aire de refrigeración. También posee aberturas y pasajes para canalizar el aire refrigeración hacia los enfriadores aire / agua, montados sobre las partes planas exteriores de la carcasa. Las chavetas cola de milano verticales a las que se fijan las laminas del núcleo se montan alrededor del diámetro interno. Todos los elementos de soporte y fijación del núcleo y el extremo del bobinado, así como los aisladores de fases y el terminal de neutro del bobinado, se montan en la carcasa.

Se tienen columnas de placas de acero uniformemente distribuidas alrededor la carcasa e integradas a ella. En la parte superior, soportan la ménsula del cojinete superior y en la inferior sirven de pie para el estator y

están empernados a los elementos de la cimentación transmitiendo a esta las fuerzas resultantes.

4.2.1.2.3 Núcleo del Estator

El núcleo del estator es laminado. Las láminas de acero-silicio magnético, de bajas pérdidas, alto grado y resistentes al envejecimiento, se fijan a la carcasa del estator por medio de chavetas cola de milano.

Cada lámina de 0.5 mm de espesor es cubierta por los dos lados con un barniz aislante clase F para evitar corrientes entre láminas y de Eddy. Las láminas se apilan en capas traslapadas aplicándoseles un tratamiento intermedio de presión, varias veces durante el proceso de apilamiento.

El núcleo completo se fija por medio de pernos pasantes entre el anillo de sujeción con uñas en la parte superior, la base de la carcasa y otro anillo con uñas en la parte inferior. Esto asegura una alta rigidez mecánica del núcleo.

Para la refrigeración del núcleo y el bobinado en las ranuras, se subdivide el núcleo en varios paquetes con ductos de aire radiales con un apropiado respiro entre paquetes. Las vigas I soldadas por puntos a la lámina final en cada ducto de aire sirven como espaciadores.

Para reducir al mínimo pérdidas por dispersión y la elevación de la temperatura en las regiones alejadas del núcleo, los paquetes de laminas en el extremo interior se distribuyen radialmente y las cuñas de presión y todos los otros soportes y sujetadores del extremo del bobinado son hechos de materiales no magnéticos.

Una vez completado el núcleo se realizan pruebas no destructivas del mismo para determinar si existen láminas cortocircuitadas.

4.2.1.2.4 Bobinado del Estator

El bobinado del estator es trifásico, de dos capas, arrollamiento ondulado para conexión tipo estrella. Los dos extremos de cada fase se conectan en la mitad inferior de la carcasa, en un extremo para formar el

neutro y en el otro para realizar las conexiones a la barra colectora del generador. El aislamiento de las barras es de plástico duro de excelentes propiedades dieléctricas, térmicas y mecánicas.

Las porciones curvas de la barra se cubren con un barniz semiconductor y adicionalmente se encinta en una cierta porción para asegurar la distribución lineal de potencial deseada (control capacitivo de la distribución de potencial). Estas medidas sirven para evitar descargas por escurrimiento (creeping) a lo largo de superficie del aislamiento o incluso ruptura.

La parte recta de la barra es encintada, con traslape hasta la mitad, con cinta doble para corona que contiene una delgada capa de un compuesto de silicón que sirve de relleno de ranura y que después de la polimerización, sin encogimiento, asegura una unión firme y que la barra encaje uniformemente en la ranura.

Las barras se instalan cuidadosamente en las ranuras y se alinean apropiadamente. La fijación de las barras en la ranura se realiza por medio de resortes y cuñas

con doble chaflán de lámina de fibra de vidrio de alta resistencia mecánica, utilizando una fuerza de acuñamiento definida. Las cuñas con doble chaflán aseguran un muy firme y permanente asentamiento de las cuñas y eliminando la posibilidad de daño del núcleo en la ranura.

Todas las conexiones en el extremo terminal de los arrollamientos se realiza por soldadura. Los cordones de las barras de las capas superior e inferior se fijan juntos por medio de grampas de cobre para asegurar una adecuada resistencia mecánica y conductividad eléctrica. Se instala un casquete de fibra de vidrio sobre cada conexión y se rellena con un compuesto epóxico para asegurar el aislamiento a tierra.

Las porciones del arrollamiento que sobresalen son amarradas juntas con cuerdas impregnadas de vidrio y forman un cono rígido capaz de soportar fuerzas debidas a un cortocircuito repentino.

Se hacen pruebas de pérdidas dieléctricas y de alto voltaje de cada barra en fábrica y luego en campo después de haber sido ensambladas.

4.2.1.3 ROTOR

El rotor consta del eje, el cubo en el centro, los brazos de la araña, el borde forjado con el anillo de freno en su parte inferior, los polos salientes con los arrollamientos de campo y el arrollamiento de amortiguamiento.

4.2.1.3.1 Araña del Rotor

Es una estructura fabricada, a diferencia del cubo en el centro, que es de fundición y es montada en caliente en el eje. Los brazos se sueldan al cubo. Todas las partes de la araña son hechas de acero de alta calidad.

Para asegurar su confiabilidad se realizan pruebas a los materiales y soldaduras tales como pruebas ultrasónicas y/o de penetración de líquidos.

4.2.1.3.2 Rotor y Anillo de Freno

El aro del rotor es forjado y se fija a la araña del rotor en caliente. El aro tiene chavetas cola de milano en su periferia para la fijación de los polos. El anillo de freno se fija a la parte inferior del aro.

4.2.1.3.3 Polos del Rotor

El cuerpo de los polos se hace de láminas de hierro apiladas a presión y mantenidas juntas por medio de placas y pernos de fijación.

Los polos tienen una fijación tipo cola de milano que se insertan en las ranuras del aro del rotor. Los polos se aseguran al borde del rotor por medio de cuñas. Esto permite su remoción en dirección vertical sin tener que retirar todo el rotor fuera del estator.

4.2.1.3.4 Bobinas de Campo y Arrollamiento de Amortiguamiento

Las espiras de campo se hacen de barras planas rectangulares cortadas en las longitudes apropiadas y

soldadas en las juntas por calentamiento a alta frecuencia y material especial de soldadura para formar cada espira. Para aumentar la superficie de refrigeración se alternan vueltas con un conductor de mayor ancho, formando así una superficie aletada en la parte exterior.

El aislamiento entre vueltas es de clase F y consiste de tiras de fibra de vidrio impregnadas de resina. El tratamiento de calentamiento a presión asegura un ensamble compacto de excelentes propiedades eléctricas y mecánicas.

Las espiras de campo se conectan por medio de curvas flexibles de cobre para formar un arrollamiento de campo cuyos extremos terminales se llevan hacia los anillos rosantes.

El arrollamiento de amortiguamiento consiste en varillas de cobre, en adecuado número y tamaño, insertadas en las cabezas de cada polo. Los extremos de las varillas de cada polo se conectan con segmentos de cobre y estos a su vez se conectan con

conductores flexibles para formar un anillo cerrado de amortiguamiento.

4.2.1.3.5 Anillos Rosantes y Colector

La alimentación en dc desde el equipo de excitación, hacia el arrollamiento de campo se hace a través de los anillos rosantes. Los anillos rosantes son de acero con superficies acanaladas en espiral y se montan en caliente sobre el extremo superior del eje con un disco de aislamiento entre cada anillo y el eje, y con muelles de tiras laminadas que ejercen una presión sobre las escobillas, cuyo valor permanece constante a lo largo de la vida útil de la escobilla no requiriendo de mayor ajuste.

4.2.1.4 COJINETES Y MÉNSULAS

4.2.1.4.1 Ménsula Superior

La parte superior de esta ménsula sirve de cubierta para el cojinete de empuje y guía combinado. Los brazos de la ménsula están empernados por un extremo a la parte central y por el otro a las puntas de

las columnas de la carcasa del estator. Soporta los pesos de las partes rotativas del generador, turbina y el empuje hidráulico hacia abajo de la turbina en todos los arranques y paradas, que puedan presentarse en operación normal y en sobre velocidad, transmitiendo las cargas verticales y radiales a la carcasa del estator y a la cimentación.

Dependiendo de su dimensionamiento, la ménsula superior puede ser usada para izar el estator completo. El nivel superior está dividido en secciones para permitir accesibilidad a los enfriadores del generador y su retiro de ser necesario.

4.2.1.4.2 Ménsula Inferior

Los brazos de la ménsula inferior están empernados por su extremo interior al cuerpo central, que sirve como cubierta del cojinete guía, y en su extremo exterior a la cimentación a través de los elementos de la cimentación, para así poder transmitir todos los esfuerzos a los elementos de esta. Los cilindros del sistema combinado de freno y gata están montados sobre los brazos.

El diámetro exterior de la ménsula inferior permite su retiro a través del diámetro interno del estator. Se tiene también una plancha de acero debajo de la ménsula inferior para confinar la circulación de aire dentro del recinto del generador.

4.2.1.4.3 Cojinetes Guías

Los cojinetes guías del generador están provistos de segmentos revestidos de metal blanco ajustables y aceite de lubricación. Con el fin de evitar la circulación de corriente en el cojinete, todas las partes de soporte, sellos, termómetros y detectores están aislados. El aceite de lubricación del cojinete es enfriado en un intercambiador de calor aceite / agua del tipo espiral montado en el interior del reservorio.

La circulación se produce solo como consecuencia de la rotación del eje y la viscosidad del aceite en la luz. Por medio de este circuito cerrado de aceite, todas las pérdidas del cojinete son transmitidas directamente del aceite al agua de refrigeración. Los segmentos del cojinete están casi completamente inmersos en aceite evitándose así la oxidación por absorción de aire y la

formación de espuma. La cubierta está equipada con líneas para llenado y drenaje.

Los medidores de nivel están conectados directamente al reservorio del cojinete que tienen contactos de alarma de alto y bajo nivel de aceite. También se tiene además un indicador de vidrio. Se tienen sensores de temperatura localizados en las almohadilla de los cojinetes de empuje y guía.

4.2.1.4.4 Cojinete de Empuje

El cojinete de empuje es del tipo autolubricado inmerso en aceite. Las almohadillas del cojinete de empuje están soportados por pivotes ajustables de tal forma que el empuje se distribuye uniformemente. Estas almohadillas con metal blanco se pueden inclinar en todas direcciones y están colocadas en forma tal, que se forma automáticamente una película de aceite en forma de cuña para transmitir la carga tan pronto el rodete empieza a girar.

Para el arranque y la parada de la unidad existe un equipo de alta presión de aceite. La bomba de aceite

arranca automáticamente antes del arranque de la unidad y se apagará automáticamente cuando la unidad haya alcanzado una cierta velocidad. Durante la rampa de parada la bomba estará encendida hasta que la unidad se encuentre en reposo. El aceite es enfriado en un intercambiador de calor aceite / agua montado dentro del reservorio de aceite. El aislamiento, sellado y supervisión son los mismos que para el cojinete guía.

4.2.1.5 FRENOS Y GATAS

El generador está provisto de frenos de aire a presión para detener las partes giratorias de la unidad desde una velocidad 20% menor a la nominal siempre que los frenos sean aplicados después de que las compuertas de la turbina han cerrado y la excitación esté apagada siempre que el torque remanente no exceda los valores límite especificados. El aire comprimido a presión, es suministrado por un compresor de aire.

Las zapatas del freno tienen superficies de desgaste por fricción (libre de metal), renovable fácilmente. Cada cilindro de freno tiene un interruptor de fin de carrera que se activa cuando el

freno está en la posición de frenado, y el cual se desbloquea cuando deja de estarlo.

El anillo del freno es de tipo segmentado fijo al rotor. Los segmentos están hechos de material de alto grado para resistir una gran cantidad de acciones de frenado con un margen también adecuado para permitir operación bajo condiciones de emergencia. Su reemplazo se puede realizar de manera sencilla.

Los frenos conjuntamente con una bomba de aceite de alta presión, están diseñados para cumplir las funciones de gatas hidráulicas para elevar todas las partes giratorias de la unidad para permitir el ensamble o desmontaje de los cojinetes de empuje. Por seguridad el pistón también puede ser trabado por medio de una tuerca especial cuando las gatas están en la posición elevada.

En caso de fallas o emergencias, los frenos evitan o limitan los posibles daños. La reducción de la velocidad en condiciones de emergencia es normalmente una operación automática. El sistema mecánico de freno se aplica al llegar al 50% de la velocidad nominal. La operación manual del sistema de mecánico de freno a cualquier otra velocidad es posible pero debe tenerse en cuenta el desgaste y abrasión a la que se expone

al anillo del freno y su recubrimiento. No se recomienda el uso de los frenos a una velocidad mayor del 50% de la velocidad nominal por su falta de efectividad.

4.2.1.6 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AIRE

El generador tiene un circuito cerrado de refrigeración por aire, cuya circulación es forzada por acción del mismo rotor. El aire es enfriado a través de intercambiadores de calor aire / agua uniformemente distribuidos alrededor de la carcasa del generador. La temperatura del aire de refrigeración no debe exceder los 40°C. Este ingresa al generador por ambos lados, pasa a través del rotor, del aro del rotor, de las aberturas entre los polos, los ductos de aire radiales en el núcleo del estator y de ahí por los intercambiadores de calor hacia el espacio circundante en el foso del generador para nuevamente iniciar el circuito. Los tubos son expandados en placas lo que permite la expansión o contracción de los tubos, de acuerdo con la temperatura del aire de refrigeración.

La tubería para agua es de acero galvanizado de dureza apropiada, con válvulas de apertura y cierre a la entrada y salida de cada enfriador. Las tuberías principales se ubican en el fondo del foso del generador.

4.2.1.7 INTERRUPTOR, PROTECCIÓN CONTRA AVALANCHA Y SISTEMA DE BARRAS DEL GENERADOR

4.2.1.7.1 Patio de Llaves en 10 kV

Este patio de llaves incluye un dispositivo de apertura de circuito, interruptor bajo carga, transformadores de potencia, transformadores corriente, así como barras colectoras y material auxiliar necesario requerido (ver plano N° IE-001 Unifilar Generador).

Interruptor de Circuito

El interruptor está ubicado dentro de un panel es de uso interior, del tipo en vacío, montado sobre un carro que puede tomar las posiciones de servicio, desconectado o posición de prueba, y capaz de ser retirado del panel. El control del arco y su extinción dentro del interruptor, se logran por “auto generación de presión”, la cual es una técnica que permite realizar simplificaciones constructivas importantes y reducir la energía requerida para su operación a un mínimo.

Transformadores de Voltaje

Son transformadores monofásicos de tensión de relación de transformación 115 : $\sqrt{3}$ V, del tipo inductivo, de aislamiento seco de resina moldeada la cual forma un bloque compacto.

Transformadores de Corriente

Son del tipo asilado, de aislamiento sólido de resina moldeada, tipo poste, con un amperaje de 5A en el secundario. La estructura de resina moldeada forma un paquete sólido compacto. La resina posee muy buenas características dieléctricas además de brindar al transformador buenas propiedades mecánicas y térmicas.

Estructura de los cubículos

Son rígidos, auto-soportados hechos de plancha de acero para uso interior según estándar CIE 298. Sus características principales son las siguientes:

Voltaje nominal : 10kV

Voltaje nominal: 12kV

BIL:	95kV
Barra colectora principal	3000 A
Material de barra colectora:	Cobre
Corriente de ruptura;	31,5kA
Frecuencia	60Hz
Grado de protección:	IP41

Panel del Interruptor del Generador

Este panel está conformado por :

- Un interruptor en vacío, extraíble, de voltaje nominal 12kV, corriente nominal 3000A y corriente nominal de ruptura de 31.5 kA
- Tres transformadores de medición de relación de transformación 3000/5A, 60VA y clase 0.5
- Tres transformadores de corriente para equipos de protección de relación de transformación 3000/5A, 30VA y clase 5P20.

Panel de Salida hacia el Transformador Elevador Principal

Este panel incluye tres transformadores de voltaje de relación de transformación $10000/115 : \sqrt{3}/115: 3V$, 30VA, clase 0.5 y 30 VA clase 0.2

Panel de Salida hacia el Transformador de Servicio de la Estación

Este panel incluye

- Tres interruptores con carga, de capacidad nominal 400A
- Tres fusibles, de 50kA de corriente nominal de ruptura.

4.2.1.7.2 Cubículos de Línea y Neutro

Cubículos de Línea

Es un cubículo autoportado hecho de plancha de acero, en el que se instalan el transformador de excitación, los pararrayos, y transformadores de voltaje y de corriente necesarios para propósitos de medición y protección. Se fabrica según las normas

CEI 298 y cuyas características principales son las siguientes.

Voltaje nominal.	12 kV
Corriente nominal:	3000 A
Grado de protección:	IP41

El cubículo consta de

- El transformador de la excitación, cuenta con un interruptor bajo carga.
- Dos transformadores de voltaje 1Ø, con fusibles, para medición, sincronización y para el AVR.
- Relación de transformación 10000 : $\sqrt{3}/115$: $\sqrt{3}$ V, 50VA, clase 0.5.
- Dos transformadores de corriente 1Ø, con fusibles, para protección.
- Relación de transformación 10000 : $\sqrt{3}/115$: $\sqrt{3}$ V, 30VA, clase 0.5.
- Un transformador de corriente para el equipo de excitación
- Relación de transformación 3000/5A, clase 1.
- Tres pararrayos con capacitores para protección contra sobrevoltaje.

Cubículo de Neutro

A través de este cubículo autosoportado hecho de plancha de acero, se realiza la puesta a tierra del neutro del generador. En este cubículo se encuentra el transformador de puesta a tierra, y una resistencia de puesta a tierra. El sistema de puesta a tierra de alto ohmio ofrece ventajas bajo condiciones de falla y limita los sobre-voltajes transitorios en las otras fases durante la falla.

El cubículo consta de

- Tres transformadores de corriente 1Ø, para protección y medición de relación de transformación 3000/5 A, 30VA, clase 5P20.
- Un transformador de corriente para el equipo de excitación, ubicados en el lado del neutro de los terminales del generador.
- Un transformador de puesta a tierra 1Ø con relación de transformación 10000/115V.
- Una resistencia de puesta a tierra para limitar la corriente de falla a tierra a un valor entre 5-10 A.

4.2.1.7.3 Sistema de Barras

Las barras que conectan el generador con el interruptor principal son barras segregadas por fase mientras que las que conectan al interruptor principal con el transformador son barras no segregadas.

El conductor de las Barras

El material conductor de las barras es cobre electrolítico. Los conductores son de sección rectangular con bordes redondeados y la superficie terminal conductora estañada. Las barras se unen por medio de amplias placas de traslape de cobre y pernos. La presión del perno se aplica a través de arandelas de presión y de arandelas planas de gran diámetro. Esto asegura una unión con un mínimo de resistencia eléctrica por contacto.

El Asilamiento de las Barras

Son de resina epóxica y soportan y transmiten al recinto cualquier esfuerzo electrodinámico por cortocircuito que pudiera presentarse como

consecuencia de una falla. El sistema por el cual las barras conductoras se fijan a sus aisladores les permite moverse, evitando así potenciales esfuerzos sobre los aisladores por expansión debido a elevación de temperatura.

4.2.1.8 INSTRUMENTACIÓN

El generador está provisto de los siguientes instrumentos de medición para efectos de control de parámetros durante su operación

4.2.1.8.1 Arrollamiento del Estator

En el arrollamiento estático se ubican 12 RTD tipo PT100, según estándar C50.10

4.2.1.8.2 Cojinete de Empuje

En el cojinete de empuje se han ubicado 4 RTD tipo PT100, uniformemente espaciadas dentro de las almohadillas del cojinete. Además se tiene un termómetro de indicación de temperatura con dos contactos ajustables de alarma.

4.2.1.8.3 Cojinetes Guías

En los cojinetes guías se han ubicado 4 RTD tipo PT100 ubicadas diametralmente opuestas las almohadillas del cojinete guía, mas un termómetro de indicación de temperatura en cada cojinete con dos contactos ajustables para alarma.

4.2.1.8.4 Reservorios de Aceite

Se a instalado una RTD PT100 en cada reservorio. Se tiene un termómetro para indicación de la temperatura del aceite con dos contactos ajustables para alarma. Además se tiene un indicador de nivel en cada reservorio con dos contactos de alarma ajustables así como mirillas para verificación visual del nivel de aceite en los reservorios.

4.2.1.8.5 Sistema de Refrigeración de Aceite

Se tiene un medidor de flujo con dos contactos ajustables de alarma en el tubo de descarga de cada enfriador. También se cuenta con un RTD PT100 en

cada tubería de abastecimiento de agua y en la de drenaje.

Se tiene un medidor de presión para indicación local en la tubería común de abastecimiento de agua.

4.2.1.8.6 Sistema de Refrigeración de Aire

Se tiene una RTD PT100 en cada línea de abastecimiento y drenaje de cada enfriador. Se tiene un juego de termómetros de indicación de la temperatura de a la salida del aire del enfriador, de la entrada y salida del agua de refrigeración. Además se instalará un medidor de flujo como indicación en la descarga con dos contactos de alarma ajustables.

4.2.1.8.7 Bomba de Aceite de Alta presión

Se tiene un indicador de presión y un interruptor de presión.

4.2.1.8.8 Calentadores de Espacio

Se tiene un termostato con contactos ajustables para control de los calentadores de espacio.

4.2.1.9 CALEFACCIÓN E ILUMINACIÓN

El generador tiene calefactores eléctricos en su parte interior, distribuidos uniformemente a lo largo de la circunferencia interior del anillo de protección. El fin de los calefactores es el de evitar la corrosión producida por condensación de la humedad durante los períodos de parada y para mantener las propiedades dieléctricas del aislamiento. Los calefactores eléctricos se cablean hasta una caja terminal montada en la parte externa de la carcasa.

Se tienen brazos portalámparas y salidas para iluminación dentro de la carcasa del generador y cableadas hacia una caja terminal adosada a la parte exterior de la carcasa del generador.

4.2.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIA

4.2.2.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA PRINCIPAL

El transformador elevador, eleva el nivel de tensión de 10kV a la salida del generador, a 138kV que es el nivel de tensión del Patio de Llaves (ver plano IE – 002).

Características del transformador de potencia

- Relación de transformación: 138 / 10 kV
- BIL lado de alta tensión: 550 kV
- BIL lado de baja tensión: 110 kV
- Potencia de salida normal:
 - Con refrigeración natural: 40MVA
 - Con refrigeración forzada: 47MVA
- Refrigeración: OA/FA
- Grupo de conexión: YNd5
- Frecuencia: 60Hz
- Elevación promedio de la temperatura del arrollamiento a una temperatura ambiente de 30°C: 65°C
- TAPs: $\pm 2 \times 2.5\%$, s/carga
- Voltaje de cortocircuito referido a 47MVA: 12.5%

- Perdidas sin carga a voltaje nominal: 31 kW
- Perdidas con carga a voltaje nominal y
47 MVA de carga: 226 kW
- Nivel audible de sonido: 76/78 dB , OA/FA

Relación de corriente de transformadores de corriente instalados:

- En lado de alta: 200/5 A, 30VA 5P20
- En lado de baja: 3000/5A, 30VA 5P20
- En lado de neutro: 150/5A, 30VA 10P20

4.2.2.1.1 Núcleo

El núcleo es de láminas de acero magnético; laminadas en frío, de grano orientado y bajas pérdidas y con un revestimiento de material aislante inorgánico resistente al aceite. Para poder lograr una compresión correcta y tan uniforme como sea posible, se comprime alrededor de la pierna del núcleo, un apretado cilindro de compresión. Este cilindro a su vez pasa a ser el cilindro de aislamiento del núcleo.

4.2.2.1.2 Arrollamientos

El material del conductor es cobre electrolítico puro de alta calidad. Se usa como material aislante del conductor, papel de aislamiento de hecho de pura pulpa sin blanquear. Se verifican la calidad y aislamiento del conductor antes de adicionar el papel de aislamiento. Los arrollamientos se someten a un proceso de secado.

4.2.2.1.3 Tanque y Cubierta

Son fabricados de plancha de acero sin aleación rolada en caliente, y perfiles macizos. El tanque y la cubierta se prueban para verificar su estanqueidad. El tanque tiene orejas para izamiento del transformador, además de puntos de apoyo en la parte inferior del tanque para que el transformador pueda ser levantado con gatas hidráulicas.

4.2.2.1.4 Conservador de Aceite

Hecho de plancha de acero, incluye un indicador de nivel de aceite, una abertura para el relleno de aceite, un tubo conector para el respiradero de deshidratación, y un tubo de conexión para el tanque y relé de gas.

4.2.2.1.5 Enfriadores

Los enfriadores son radiadores fabricados con elementos soldados a prueba de vacío. Los radiadores se conectan con el tanque del transformador por medio de válvulas, posibilitando su remoción de individual de los radiadores sin necesidad de drenar aceite del transformador.

4.2.2.1.6 Aisladores

Los aisladores para alto voltaje tienen cuerpo de condensador de papel impregnado en aceite para alto voltaje. Estos no son susceptibles al envejecimiento y libres de mantenimiento.

Los transformadores de corriente están instalados en los aisladores de alta y baja tensión, así como en el de neutro.

4.2.2.2 TRANSFORMADOR DE SERVICIO

Este transformador proporciona la energía desde el patio de llaves en 10 KV a todos los sistemas auxiliares de la central.

4.2.2.2.1 Núcleo

Hecho de tiras de planchas de acero magnético de grano orientado con bajas pérdidas específicas y cubierto en ambas caras con un aislamiento de material inorgánico. El núcleo se fija en su posición por medio de collares de resina de fibra de vidrio.

4.2.2.2.2 Arrollamientos

El arrollamiento de alta tensión está completamente encapsulado en un compuesto de resina epóxica, relleno con polvo de cuarzo tratado para mejorar su adherencia y resistencia a la humedad. El arrollamiento del lado de baja está hecho de bandas de tiras de cobre electrolítico. El arrollamiento es

envuelto por una banda de cobre y otra de aislamiento flexible alrededor de un molde cilíndrico.

4.2.2.2.3 Montaje de los arrollamientos en el núcleo

Los arrollamientos se colocan entre las bridas metálicas que anclan el núcleo, sobre soportes de material aislante y entre elementos elásticos pretensados, capaces de absorber las expansiones y contracciones de la unidad que se dan con la variación de la temperatura.

4.2.2.2.4 Encapsulado

Esta es la operación fundamental en el proceso de manufactura y debe llevarse a cabo y ser controlado, bajo estrictas condiciones que garanticen un óptimo aislamiento y características mecánicas. Se coloca el arrollamiento dentro de un molde y se rellena con un compuesto aislante líquido.

Características del transformador de servicio

- Relación de transformación: 10 kV / 230 V
- Potencia de salida normal: 300kVA

- Grupo de conexión: Dyn11
- Frecuencia: 60Hz

4.2.3 PATIO DE LLAVES EN 138KV

(Ver Diagrama Unifilar IE - 002)

4.2.3.1 INTERRUPTOR DE POTENCIA

El interruptor de potencia es un interruptor que usa SF₆ como aislante y medio extintor de arco. El hexafloruro de azufre es un gas posee una alta resistencia dieléctrica y una alta conductividad térmica. El interruptor es del tipo pistón o soplador, el cual genera por si mismo la presión de gas necesaria para extinguir el arco durante la operación de apertura bajo carga.

La energía requerida para interrumpir corrientes de cortocircuito es tomada parcialmente de la energía del arco mismo, reduciendo así la energía requerida para la apertura.

Características Principales del Interruptor

- 01 Interruptor de tres polos tipo SF₆
- Voltaje nominal: 138 kV
- Corriente nominal (I_n): 2500 A
- Capacidad de ruptura: 31.5 kA

4.2.3.2 SECCIONADOR

Consta de dos columnas giratorias y freno central. Las partes expuestas al paso de corriente son de cobre electrolítico. El contacto es puntual y autolimpiante. Los contactos para la puesta a tierra están localizados en el contacto fijo.

Las bases rotatorias son resistentes a las condiciones ambientales y sus cojinetes no requieren de mantenimiento. Los aisladores están montados sobre pernos de fijación, los cuales permiten un ajuste preciso del sistema de contactos una vez que las líneas sean armadas, y las tolerancias de los aislamiento alcanzadas.

Los brazos giratorios son de material soldado sin contactos corrosivos entre las partes, minimizando cualquier cambio en el valor de su resistencia con el tiempo.

Los aterramientos están íntegramente montados con los seccionadores y mecánicamente interconectados con las hojas principales.

Características Principales del Seccionador:

- 01 Seccionador de tres polos
- Voltaje nominal: 138 kV
- Corriente nominal (In): 1250 A
- Corriente capaz de soportar por corto tiempo: 31.5 kA

4.2.3.3 TRANSFORMADORES DE VOLTAJE

Son del tipo capacitivo y se ubican en la línea de salida de la subestación. Un compensador de acero inoxidable en la sección divisoria capacitiva además del espacio para el nitrógeno en la parte inductiva, compensan las variaciones de volumen de aceite. Se tiene también un indicador de nivel en el tanque de metal y una válvula para el llenado de nitrógeno.

Características Principales de los Transformadores de Voltaje

- 06 Transformadores tipo capacitivo
- Voltaje nominal: 138 kV
- Relación de transformación: $138 : \sqrt{3} \text{ kV} / 115 : \sqrt{3} / 115 : \sqrt{3} \text{ V}$

4.2.3.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

El arrollamiento del primario consiste de uno o varios conductores paralelos de aluminio o cobre diseñados en principio como un aislador en forma de U con capas de condensadores. El bobinado se aísla con una capa especial de gran resistencia mecánica, alta resistencia dieléctrica, bajas pérdidas dieléctricas y buena resistencia al envejecimiento.

Al núcleo se le da la forma de un bobinado cilíndrico. Los núcleos para protección se bobinan de tiras de hierro magnético orientado de alto grado. Los núcleos para medición se hacen de aleación de níquel que presenta bajas pérdidas y bajo nivel de saturación.

Los bobinados secundarios consisten de alambre doblemente esmaltados uniformemente distribuidos alrededor de toda la periferia del núcleo.

Los arrollamientos se secan al calor en vacío. Inmediatamente después del ensamblaje se rellenan todos los espacios libre con cuarzo limpio y seco. El transformador ya ensamblado es tratado al vacío y llenado con aceite desgasificado. El espacio para

expansión se rellena con nitrógeno para evitar que se oxide el aceite.

La parte inferior del transformador consiste de un tanque galvanizado en caliente, en el cual se montan los núcleos alrededor de un separador del bobinado del primario. La parte alta del transformador es de porcelana de alto grado. Las empaquetaduras empleadas son de material resistente al aceite.

Características Principales de los Transformadores de Corriente

- 03 Transformadores tipo: capacitivo
- Voltaje nominal: 138 kV
- Relación de transformación: 200/5-5A

30 VA CI 0.2

30 VA 10P20

4.2.3.5 PARARRAYOS

Son unidades herméticamente selladas, cada una conteniendo una columna de bloques de ZnO. El sellado al final de cada pararrayos consiste de una plancha de acero pretensado juntamente con una empaquetadura en forma de O. La plancha de sello, la cual es fijada excéntricamente a la brida, ejerce en su posición normal una presión continua sobre la empaquetadura

contra la superficie de sello del aislante. Esto brinda un sello uniforme en el eventual caso de que la empaquetadura se da por envejecimiento.

Características Principales de los Pararrayos:

- Voltaje nominal: 138 kV
- Corriente nominal de descarga: 10 kA

4.2.3.6 PANEL DE CONTROL Y PROTECCIÓN

Es de tipo mimico, de construcción rígida, auto soportado, acceso por la parte frontal. En él se ubican todas las protecciones, conmutadores de control, medición, indicación de instrumentación y alarmas.

4.2.3.7 PANEL DE DISTRIBUCIÓN EN AC

El panel de distribución en 230 VAC se encuentra dentro del edificio de control. Cada circuito que sale de sus barras se protege por medio de disyuntores y fusibles HRC. Desde ellos se alimentan todas las cargas en bajo voltaje.

Además de los equipos mencionados el patio de llaves incluye:

- Pórtico de salida a línea aérea.

- Cables tipo ACSR para las conexiones en 138 kV hacia el pórtico de salida.
- Tubos de aluminio para las conexiones en los terminales de alta tensión del transformador principal.
- Aisladores de porcelana para la línea aérea de salida.
- Conexiones de puesta a tierra de todos los equipos.
- Malla de puesta a tierra.

4.2.4 SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y SINCRONIZACIÓN

El sistema de protección necesario para un generador depende de muchos factores tales como el tamaño del generador, tipo de fuerza motriz, sistema de puesta a tierra, de la conexión a la red, etc. El sistema de protección debe detectar y actuar en forma segura, rápida y selectiva en el caso de presentarse:

- Corto circuitos internos y / o debido a fallas a tierra.
- Fallas externas en otros circuitos (protección de respaldo).
- Condiciones anormales de servicio que eventualmente causaran fallas.

El sistema de protección de un generador tiene requerimientos máximos en cuanto a confiabilidad, es decir, todas las fallas deben ser detectadas y separadas por el sistema de protección.

Características del Sistema de Protección:

- Diseño totalmente estático. Las únicas partes móviles son los contactos de salida de servicio pesado.
- Cada módulo de relé conforma un relé de protección completo con los correspondientes transformadores, elementos de medición y

temporización, contactos de disparo y alarma, indicadores y una fuente que forma parte de la estructura del módulo del relé.

- Fuente de poder autorregulada que posibilita el uso del relé en un amplio rango de tensiones en DC desde las baterías de la estación.
- Alta resistencia a la interferencia entre todos los puntos de entrada / salida y las partes electrónicas.
- Bajo consumo de energía en los circuitos de medición. Esto reduce la carga sobre los transformadores de corriente disminuyendo así el efecto de saturación de los mismos.
- Larga estabilidad de los ajustes comprobada, baja dependencia de la temperatura ambiente y dependencia despreciable de las variaciones de voltaje de alimentación.
- No requerir de herramientas especiales para su montaje ni tampoco de cables especiales para hacer el cableado de entrada o salida de los circuitos de relé.
- Además los relés basados en microprocesador poseen las siguientes características especiales:
 - Comunicación hombre máquina muy versátil desde el panel frontal del relé.
 - Presentación numérica de valores de ajuste, voltajes, corrientes de carga, registro automático de toda la información de fallas y de estado.
 - Un sistema de automonitoreo con autodiagnos.

4.2.4.1 PROTECCIÓN DEL GENERADOR Y BARRA DE 10 KV

Relé Multifunción para protección de generadores que incluye las siguientes funciones:

- Oscilógrafo
- Diferencial (87G)
- Relé de frecuencia (81)
- Sobre Voltaje (59)
- Sobre Corriente controlado por Voltaje (51V)
- Secuencia Negativa (46)
- Sobrecarga Térmica (49)
- Detección de Potencia Inversa (32)
- Perdida de Excitación (40)
- Relé de Sobre / Baja Frecuencia (81)
- Relé de Balance de Voltaje (60)
- Relé de Multifunción con funciones de:
 - Sobre Voltaje (59)
 - Bajo Voltaje (27)
 - Relé de Voltaje Residual (64N)

4.2.4.2 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE POTENCIA

Relé protección Diferencial (87T) y sobre corriente por falla a tierra (51N)

Relé multifunción de protección de transformadores con las siguientes funciones:

- Oscilógrafo
- Relé de distancia (21)
- Relé direccional de sobre corriente a tierra (67N)
- Relé de re-cierre (79)
- Relé de sincronización (25)

4.2.4.3 SINCRONIZACIÓN AUTOMÁTICA

Los ajustes se ingresan a través de un teclado en el frente de la unidad, mostrándose los parámetros en la pantalla de dos líneas tipo LCD (pantalla de cristal líquido) y LEDs que muestran las mas importantes condiciones de operación.

En el interior del cubículo se encuentran los relés auxiliares y otros materiales auxiliares necesarios para su correcta operación.

En la parte posterior del cubículo se encuentran las borneras

terminales para las conexiones de las medidas de voltaje, corriente, etc., contactos de señales de los conmutadores selectores, contactos auxiliares del seccionador e interruptor y bornes terminales para señales de salida.

4.2.5 EQUIPOS DE MEDICIÓN

4.2.5.1 SUBESTACIÓN 138 KV Y TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

- Un relé diferencial para transformador y sobre corriente de falla a tierra (87G-51N)
- Dos relés de sobre voltaje residual (64N)
- Relés de Bajo / Sobre voltaje (27, 59)
- Relé de Baja / Sobre frecuencia (81)
- Un relé de Balance de Voltaje (60)
- Una unidad multifunción de protección del generador
- Una unidad multifunción de protección de línea

Para medición de los parámetros del generador y servicios auxiliares y la subestación de 138 kV se tienen los siguientes instrumentos

4.2.5.2 GENERADOR

- Medidores de energía clase 1 para medir energía activa y clase 2 para medir la energía reactiva.
- Un Megavatímetro MW.
- Un Megavarímetro MVAr.

- Un medidor del factor de potencia o cosfímetro.
- Un amperímetro con selector.
- Un frecuencímetro.
- Un voltímetro con selector.
- Un tacómetro digital (rpm).
- Medidor de doble frecuencia (para el sincronizador).
- Un doble voltímetro (para el sincronizador).
- Un sincronocópio (para el sincronizador).
- Un amperímetro (para la excitación).
- Un voltímetro (para la excitación).

4.2.5.3 SERVICIOS AUXILIARES

- Medidores de energía clase 1 para medir energía activa y de clase 2 para medir la reactiva.
- Un Mega vatímetro MW.
- Un Mega varímetro MVAr.
- Un amperímetro con selector.
- Un voltímetro con selector.
- Subestación de 138 kV.
- Medidores de energía clase 0.2 para medir energía activa y de clase 1 para medir la reactiva.
- Un Mega vatímetro MW.

- Un Mega varímetro MVAR.
- Un amperímetro con selector.
- Un voltímetro con selector.
- Transductores de señales para las siguientes medidas:
 - Frecuencia
 - Voltaje
 - Potencia activa
 - Potencia reactiva
 - Factor de potencia
 - Corriente

4.2.6 SISTEMA SCADA

El sistema consiste en un sistema de control distribuido o DCS y de paneles de control del generador (ver diagrama SC - 001).

4.2.6.1 BUS

Entre los procesos y las estaciones operadoras se utiliza un Bus de alta performance que se emplea en las comunicaciones entre los controladores y para comunicación entre el operador de la estación y estos controladores. La longitud máxima del bus es de aproximadamente 2000m dependiendo del medio de transmisión empleado, existiendo tres medios de transmisión que se pueden emplear: cable coaxial, cable de pares torcidos y fibra óptica. El bus puede estar constituido de varios segmentos. Los diferentes segmentos se interconectan por medio de módems repetidores.

4.2.6.2 ESTACIONES DE PROCESO

4.2.6.2.1 Operación

El control automático de la secuencia de arranque / parada de la unidad se realiza a través de un Controlador Lógico Programable PLC. El PLC se programa para que controle automáticamente todos

los pasos necesarios para llevar a cabo la secuencia automáticamente. En cada paso de la secuencia el PLC da ordenes a diferentes dispositivos y verifica los valores de diferentes señales del proceso. Si el PLC detecta una situación anormal o peligrosa, entonces realiza las decisiones apropiadas y controla la unidad llevándola a un estado seguro deseado.

Para cada paso de la secuencia se programan las siguientes funciones:

- Monitoreo de las condiciones del proceso así como indicación de las acciones ha ser tomadas en caso de encontrarse perturbaciones.
- Dar ordenes de arranque / parada y otras ordenes a motores, actuadores y otros equipos.
- Determina la duración de cada etapa.
- Supervisión del progreso del proceso así como indicación de las acciones ha ser tomadas en caso de encontrarse perturbaciones.

Se pueden seleccionar los siguientes modos de operación del sistema de control :

- **Modo Automático**

Después de recibir una orden de activación, la unidad PLC lleva a cabo todos los pasos de la secuencia seleccionada (Arranque / Parada) incluyendo sincronización con la red.

- **Modo Automático Paso a Paso**

En este modo de operación el PLC controla la secuencia parando después de realizado cada paso. Para proseguir con el siguiente paso el operador debe dar la orden de “continuar”. Este modo de operación se usa durante la puesta en servicio y mantenimiento de los trabajos de la instalación.

Una vez seleccionado el modo de operación se elige la secuencia deseada:

- Arranque de la unidad
- Parada normal de la unidad
- Parada de emergencia de la unidad

Las primeras dos secuencias son seleccionadas por el operador mientras que la tercera sería activada por una perturbación importante.

Dependiendo de la configuración de cada instalación se determinan los detalles de la secuencia y los pasos. Se pasa al siguiente paso cuando el sistema comprueba que después de haberse dado la orden el sistema respondió en la forma deseada y dentro de los límites establecidos.

Las posibles perturbaciones se pueden clasificar en:

- **Alarma**

Se activa durante la ejecución de cualquiera de los pasos cuando alguna de las condiciones del proceso alcanza la condición de alarma programada.

- **Parada de la secuencia**

Se detiene la secuencia cuando alguna condición del proceso no permite el paso al siguiente paso.

- Paso a otra secuencia

El PLC activa el cambio de una secuencia a otra cuando una importante perturbación es detectada. Durante la programación se determina que condiciones son lo suficientemente severas como para activar el cambio de secuencia. En estas situaciones el PLC ordena una parada normal o de emergencia.

Cuando la secuencia es terminada el sistema permanece monitoreando el proceso en forma continua.

4.2.6.2.2 Controlador

Este PLC es de características universales, sistema expandible para poder ir construyendo sistemas de control para variadas aplicaciones. La base para esto es un sistema estandarizado de hardware y software que sea modular, ofreciendo al usuario suficientes alternativas para la selección de los bloques del sistemas.

El sistema de control se puede construir partiendo de una combinación estándar de bloques, que puede ser posteriormente expandido.

El sistema del PLC debe estar diseñado para soportar ambientes industriales pesados, ser de diseño robusto e inmune a las interferencias, y contar con funciones de diagnóstico para facilitar la puesta en servicio y detección de fallas.

El hardware para el controlador consiste de módulos procesadores, módulos de comunicaciones, módulos de entrada y salida (I / O) y conectores de proceso, subracks, ductos para cables y fuentes de energía. Los ductos de cables y los subracks se diseñan para ser montados en gabinetes. Los módulos están dentro de un recinto hecho de plancha de acero que protege las placas de circuitos. El recinto tiene aberturas para ventilación natural y tiene un grado de protección IP20 y clase de protección según la norma IEC 529.

4.2.6.2.3 Módulos de Procesadores

Los módulos del procesador para el controlador son módulos que encajan dentro del subrack del controlador.

Se dispone de una memoria no volátil que se usa para mantener una aplicación del usuario y de software de sistema. En el momento del arranque la aplicación es copiada de la memoria no volátil a la memoria RAM desde donde se ejecuta. La memoria no es expandible. Las baterías proveen la energía para la memoria RAM y el reloj de tiempo real.

4.2.6.2.4 Interfaz de Comunicación

Las interfaces de comunicación se realizan como módulos o submódulos. Un submódulo es una pequeña placa que encaja en una ranura en el soporte de submódulos. Los módulos pueden ser cambiados y también se pueden insertar nuevos módulos. Cada unidad tiene un LED rojo para indicar falla.

4.2.6.2.5 Fuente de poder

El controlador puede ser conectado a los siguientes tipos de alimentación primaria de energía:

- 120V o 230V AC, 47 – 450 Hz usando el modulo de fuente de poder.
- 110V / 125V o 220V / 250V DC usando el módulo de fuente de poder.
- 24V DC alimentación directa al controlador desde una fuente externa de poder.
- Los circuitos electrónicos de los módulos se alimentan por medio de dos rieles de energía redundantes. El nivel 0 V se conecta a la parte metálica del subrack.

4.2.6.2.6 Ducto de cables

El ducto para cables sujeta los cables de proceso. También tiene 10 bornes terminales para conectar las pantallas de los cables de proceso a tierra.

4.2.6.2.7 Módulos de Entrada y Salida I/O

Los módulos de entrada y salida (I/O) típicos tienen 16 o 32 canales de entrada o salida, dependiendo del tipo de módulo, y se ubican en las estaciones de entrada y salida I/O que se construyen de uno o dos subracks. Los módulos de entrada y salida I/O también pueden insertarse en el subrack del controlador. Las estaciones de entrada y salida I/O se

comunican con el controlador via una extensión del bus.

Se dispone de un amplio rango de módulos de entrada y salida, que cubren señales análogas y digitales de varios tipos. Adicionalmente se dispone de módulos para medición de temperatura, contadores de pulsos y aplicaciones de medición de posición.

Todos los módulos se supervisan tanto al iniciar el sistema como durante su operación normal. El estado de los módulos se indica a través de dos LEDs, RUN (en verde durante la operación normal) y ALARMA (en rojo cuando se detecta una falla). Se dispone de diagnóstico con mayor detalle a través de la estación de ingeniería.

Los módulos de entrada y salida I/O se pueden cambiar incluso con el sistema en operación, desconectándose las señales de proceso al remover el conector, y se encuentran protegidos por una cubierta de plancha de acero que protege las tarjetas de circuitos. La cubierta tiene aberturas en la parte inferior y superior para circulación de aire de

ventilación por convección. La cubierta alcanza un grado de protección IP20 según la norma IEC 529. Los cables de proceso se conectan al conector frontal del módulo de entrada y salida I/O. El conector es removible para facilitar el reemplazo de los módulos.

4.2.6.2.8 Software de Control de Proceso

El lenguaje de programación del controlador es un lenguaje gráfico estructurado llamado AMPL.

AMPL es un lenguaje de bloques de funciones con representación gráfica que está especialmente orientado a control de procesos. El bloque de funciones ofrece un alto nivel de configurabilidad, desde uno simple hasta uno complicado. Los bloques constructivos del AMPL se denominan elementos PC.

El AMPL contiene una gran variedad de elementos PC que cubren un gran rango de funciones, tales como lógicas y de control de secuencia, datos y manejo de textos, aritméticas, reportes, posicionamiento y control de regulación incluyendo PID avanzado y control auto ajustable adaptable. El AMPL también posee elementos estructurales que estructura el

programa de aplicación. Dentro del rango de elementos estructurales hay elementos para control de secuencia, elementos para estructurar y ejecutar acciones de control y elementos solo para estructurar. Al mas alto nivel de la estructura en el AMPL se denomina programa MPL o programas PC (control de proceso por sus iniciales en inglés). Los programas en AMPL se dividen en unidades ejecutables. Esto se puede hacer dando diferentes ciclos de ejecución y asignando prioridades. Esto significa que un programa AMPL puede contener tanto funciones de control rápidas como lentas. Las entradas de proceso son registrada con el mismo mecanismo que los programas AMPL. Esto significa que si una señal de entrada es registrada con el mismo tiempo de ciclo que el correspondiente PC, la señal de entrada será siempre ejecutada y leída por el sistema antes de la ejecución del correspondiente unidad de ejecución. Esta sincronización entre las señales de entrada y salida (I/O) y el AMPL garantiza que por cada ejecución de un módulo se lean las correspondientes entradas y se actualicen las correspondientes salidas, todo dentro del mismo ciclo.

4.2.6.3 ESTACIÓN DEL OPERADOR

La estación del operador se base en computadoras industriales personales y en un paquete de software especial para supervisión y control de procesos.

La computadora tiene diferentes paquetes de software que se pueden dividir en los siguientes grupos principales:

- Sistema operativo
- Adquisición y almacenaje de datos
- Visualización gráfica y comunicación hombre - máquina
- Manejo de alarmas
- Modificación de variables y parámetros
- Reportes y operaciones especiales

4.2.6.3.1 Sistema Operativo

Soporta las funciones básicas principales de PC. Utiliza Windows NT como sistema operativo en las estaciones del operador. Este Sistema multitarea corre en computadoras personales estándar y tiene un muy bueno soporte para comunicaciones WAN y LAN.

Windows NT trabaja con varios protocolos de red estándar como TCP/IP, NETBIOS, etc., por lo que se empleó TCP/IP para las comunicaciones entre la estación del operador del sistema de control local en Windows NT y el Centro de Control en Lima. El software SCADA soporta este tipo de conexión y la transferencia de datos.

4.2.6.3.2 Adquisición, Almacenamiento y Actualización de Datos

El sistema hace posible que las marcas de tiempo de cada dato puedan ser definidas individualmente. Se puede configurar el software para almacenar datos históricos, archivando cada señal de entrada al sistema en un archivo histórico. Estos datos pueden ser mostrados como una tendencia y se puede acceder a ellos con una aplicación externa como Microsoft Excel o algún otro programa definido por el usuario.

4.2.6.3.3 Visualización Gráfica y Comunicación Hombre-Máquina

Presentación de Diagramas de Proceso

Se presenta la información en forma clara y lo hace desde una visión global del proceso hasta visualización detallada de cualquier variable del proceso. Las presentaciones de diagramas de proceso se organizan en una estructura piramidal donde se puede mostrar desde la representación mímica general de la instalación hasta los mas detallados diagramas de las partes locales del proceso. El acceso de un nivel a otro se realiza moviendo el cursor hacia la zona de la cual se requiere ver mas detalles. Por otro lado el sistema tiene un editor de gráficos que hace posible la presentaciones de alta resolución. El sistema permite modificar en línea cualquier base de datos, presentaciones en pantalla del proceso, configuraciones, etc.

Se tienen 30 presentaciones en pantalla del proceso las cuales presentan típicamente la siguiente información:

- Estado de la planta con los datos principales de la operación de la central hidroeléctrica.
- Unidad Generadora. Esta presentación en pantalla muestra los diferentes valores medidos de operación y estado de la unidad generadora.
- Patio de Llaves. En esta presentación en pantalla se muestran valores de voltaje, corriente y potencia y estado del interruptor y seccionador. El interruptor y el seccionador pueden ser controlados a través de esta pantalla.
- Alimentación de Potencia Auxiliar. Muestra los valores y estado del sistema de alimentación auxiliar a la planta.
- Generador. Muestra información detallada del generador como temperatura, rpm, etc.
- Sistemas Auxiliares. Muestra la información sobre el aceite lubricante, las bombas, etc.

Presentaciones Grupales

Este tipo de presentación presenta grupos de variables. Usando esta presentación el operador puede tener información precisa del estado y valores de las variables incluidas en ella. La información presentada

depende del tipo de variables seleccionadas para cada grupo. Se puede tener en la misma presentación valores análogos e información lógica del estado.

La forma de presentación depende del tipo de variables. Para las variables análogas se usan barras verticales conjuntamente con la indicación del rango nominal y el evento y límites de alarma. Para las variables lógicas se muestran los dos posibles estados, indicando el estado activo actual. En el caso de grupos de variables lógicas la misma información de cada miembro del grupo es presentada.

Todas estas presentaciones se generan automáticamente en base a presentaciones de diagramas de proceso.

Presentación de Objeto

Esta presentación esta diseñada en base a una variable del sistema y permite conocer mas detalles de ella y modificar diversas características de la variable tales como dirección, nombre, valor inicial, valor actual. Da también la curva de la tendencia en base los

últimos valores de la variable. La misma información mostrada puede ser impresa.

Eventos y Alarmas

La idea conceptual de los eventos y alarmas es de alertar al operador de que algo importante ha ocurrido en el proceso y la producción. Los eventos y alarmas disparadas, pueden ir de mensajes triviales a alertar un comportamiento del proceso importante o peligroso. Los mensajes de eventos y alarmas se crean como resultado de la detección de algo en el manejo del proceso, de una acción del operador o como resultado de una aplicación.

Los mensajes de eventos y alarmas se almacenan y se presentan en un listado cronológico. El listado tiene una cierta capacidad o número de ítems que puede almacenar, una vez alcanzado el límite de ingresar un nuevo ítem se escribirá sobre el más antiguo de la lista. Una alarma es un tipo especial de evento que requiere que el operador le preste atención y tome conocimiento del mismo mientras los eventos son generados. Cuando se llegan a condiciones predeterminadas como por ejemplo, el cambio de

estado de variables binarias o el exceder los límites de variables análogas o ocurren eventos anormales, se generan alarmas. Por defecto, una alarma no será removida de la lista hasta que el operador indique haber tomado conocimiento de la alarma y el error haya desaparecido. Sin embargo, se puede configurar la función de tal forma que la alarma desaparezca una vez que se haya tomado conocimiento de la misma, aun cuando la condición de alarma aun exista.

Las alarmas también se indican en todas las pantallas en una línea donde aparece la última alarma no reconocida y como indicación de estado en color rojo con datos dinámicos de los objetos relacionados, parpadeando hasta que la alarma es reconocida y luego sin parpadear hasta que la condición de alarma desaparece.

Este módulo tiene prioridad máxima no importando en que modo de operación se encuentre el sistema.

El sistema tiene un estándar de presentación por colores para alarmas de diferentes niveles.

El programa informa permanentemente al operador sobre las alarmas ocurridas independientemente de la selección de presentación en pantalla (presentación de proceso, tendencias, curvas, reportes, editor, etc.) y permite al operador reconocer o bloquear las alarmas. Para este propósito se reserva la primera línea de cada presentación. En esta línea se presenta el nombre de la variable y el nombre del más detallado diagrama de proceso mostrado que incluye a esta variable. Todo esto se escribe en el color que le corresponde a ese tipo de alarma.

El programa permite también la visualización y/o impresión de todas las alarmas activas o aquellas ocurridas durante un determinado período de tiempo y que alcanzan las condiciones deseadas, incluyendo información como nombre de la variable, fecha y hora de la ocurrencia, modificación del estado, nombre del diagrama de proceso en el que sucede y otros datos dependiendo del tipo de variable que ha causado la alarma.

4.2.6.3.4 Seccionador de Proceso del Controlador

El seccionador de proceso del controlador es el medio por el cual se define la autoridad del comando y la notificación de alarmas de cada lugar de trabajo. Provee las funciones para dividir el proceso en secciones ligando cada lugar de trabajo con la mezcla de secciones del proceso deseada para supervisión y control. Para cada lugar de trabajo se define un determinado número de niveles de autoridad y que dependiendo de la situación son rápidamente invocados, por ejemplo: acceso total; acceso con señal de alerta o sin acceso

Esto se aplica para la selección del proceso y para reconocimiento de alarmas.

Un proceso se puede dividir en secciones. Cada objeto del proceso puede localizarse en una sección en particular. En una presentación en pantalla de la configuración para el seccionamiento del proceso, los eventos y alarmas de las diferentes secciones del proceso se asignan a los lugares de trabajo deseados. Los eventos y alarmas pueden ser repartidos en: listas de eventos y alarmas; registros de eventos y alarmas a impresoras; dispositivos externos de alarmas

De esta manera el operador no es distraído por eventos y alarmas que ocurren fuera de su área de responsabilidad permitiendo que se concentre en sus propias tareas.

Las diferentes autorizaciones de los operadores tales como solo inspección, alerta y autorización total, pueden ser definidas para las diferentes secciones. El sistema verifica si el operador tiene la debida autorización para seleccionar objetos para control o para reconocer alarmas.

El operador puede controlar y afectar su propia sección del proceso, pero puede también obtener información sobre el curso de eventos y alarmas de otras secciones.

El proceso de seccionamiento del controlador debe estar incluido en cada estación de operador donde el seccionamiento del proceso se emplea. Sin esta opción el usuario tiene total acceso a todos los objetos, sin importar la sección determinada para cada objeto.

4.2.6.3.5 Reportes

El sistema permite crear reportes cíclicamente siempre y cuando algunas condiciones se cumplan o cuando el operador lo solicita. En estos reportes se puede incluir la información de la operación de la planta deseada.

4.2.6.3.6 Redundancia en las Estaciones del Operador

El nodo de redundancia SCADA previene la pérdida de datos debidas a fallas en la comunicación entre el PLC y el nodo SCADA. Se puede incorporar redundancia del nodo SCADA en su aplicación usando redundancia total o automática en caso de falla.

La redundancia total se consigue teniendo dos nodos SCADA activos con las mismas pantallas, base de datos y canales de comunicación. El software del controlador debe ser capaz de soportar este tipo de configuración. Ambos sistemas están activos y si

alguno fallara el otro seguiría activo. Como cada sistema esta leyendo los datos del PLC, se tiene la ventaja de proveer respaldo en caliente.

Es posible que no se requiera del respaldo en caliente que da un nodo SCADA redundante y que se pueda aceptar una falla de un minuto o dos. En el caso de falla, el SCADA primario se convierte de una estación de observación o SCADA en espera.

El programa puede notificar al operador que el nodo primario ha fallado y que requiere intervención del operador para transferencia al nodo secundario. Esta forma tiene la ventaja de que se asegura que el operador esté al tanto de la falla del nodo primario. El programa también puede intervenir automáticamente sin participación del operador en caso de falla.

4.2.6.3.7 Modos de Control

Control desde “panel” en “manual”

En esta posición, la unidad se opera en el modo manual desde el panel de control con los instrumentos básicos de operación manual y dispositivos auxiliares

correspondientes a cada unidad (en el caso de tener mas de una unidad) y los sistemas auxiliares mecánicos restantes.

Control desde “panel” en “automático”

Las ordenes de arranque y parada en esta posición se dan desde el mismo panel de control y se lleva a cabo la secuencia automática por el correspondiente PLC. En este caso como en el anterior, las señales de proceso, alarmas e indicación debe estar en el panel así como en la estación de operación.

Control desde la “estación de operación” en “manual / automático”

En este modo se controla unidad desde las presentaciones en pantalla de las estaciones de operación.

4.2.6.4 RED

El diseño de la red del controlador incorpora dos principio básicos : procesamiento distribuido y transferencia de datos sobre demanda.

4.2.6.4.1 Procesamiento Distribuido

En una red de procesamiento distribuido, cada nodo ejecuta las tareas asignadas a ellos independientemente. Una de las ventajas de esta estrategia es que se puede poner fuera de línea a un nodo sin perder toda la red. Cuando un nodo busca datos de un nodo que está fuera de línea, el software de red del controlador notifica al nodo solicitante de forma tal que pueda manejar la falta de datos. Aun cuando cada nodo es integral como estación independiente, también puede acceder datos de cualquier parte de la red.

4.2.6.4.2 Transferencia de Datos sobre Demanda

El controlador lee y escribe información sobre demanda y solo la información solicitada es la que se mueve a través de la red. Esta estrategia preserva recursos para las tareas locales.

4.2.6.4.3 Transferencia de Archivos

El controlador tiene la habilidad de transferir archivos a través de la red y en forma opcional, a través de un

modem utilizando un utilitario para la transferencia de archivos, no necesitando un servidor de archivo.

4.2.6.4.4 Comunicaciones Vía Modem

Para transmitir datos y alarmas usando un modem, el controlador permite el organizar y comunicarse con nodos que no se encuentran en el LAN. La capacidad de monitorear procesos desde locaciones distantes, expande las capacidades de supervisión y mantenimiento. Para emplear esta capacidad se puede usar un enlace vía fibra óptica de 64 Kbps para conectar la estaciones del operador y el nodo del controlador en el Centro de Control.

4.2.7 SISTEMA DE SERVICIOS EN AC

4.2.7.1 TABLEROS DE BAJA TENSIÓN Y CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

Los tableros de baja tensión y los centros de control de motores distribuyen la alimentación para los servicios auxiliares y motores de la central. La alimentación de energía se hace desde los transformadores de servicios auxiliares o de la unidad de generación de emergencia.

Cada tablero consiste de un número de cubículos verticales divididos en compartimientos horizontales donde se instalan los aparatos. Cada tablero tiene una sección para la acometida para proveer de voltaje a la barra común del sistema. Los cubículos de salidas tienen alimentadores para la distribución de energía.

4.2.7.1.1 Interruptores en Aire (ACB)

Los ACB están equipados con un mecanismo de resorte cargado por un pequeño motor eléctrico y con bobinas de disparo y cierre, poseen protección térmica contra sobrecarga y sobre corriente, además de

botoneras para la apertura y cierre con dispositivos de indicación así como del necesario material auxiliar.

4.2.7.1.2 Interruptores de Operación con Carga

Son de diseño robusto y confiable de estructura compacta para ahorrar espacio dentro de los paneles y facilitar su montaje.

4.2.7.1.3 Alimentación de Motores

Son del tipo retirables y consisten de interruptores bajo carga y contactores, los compartimientos incluyen transformadores de corriente y dispositivos auxiliares de control. Los contactores están provistos de dispositivos térmicos de protección contra sobrecarga. Los alimentadores están a su vez provistos de botones para control, lámparas para indicación, etc.

4.2.7.1.4 Datos Característicos

Unidad principal de Baja tensión y centro de control de motores

- Voltaje nominal : 220 V

- Corriente nominal: 1000 A
- Capacidad de corriente por 1s: 31.5 kA

Tablero de distribución auxiliar:

- Voltaje nominal : 220 V
- Corriente nominal: 100 A
- Capacidad de corriente por 1s: 31.5 kA

Tablero de distribución de emergencia:

- Voltaje nominal : 220 V
- Corriente nominal: 100 A
- Capacidad de corriente por 1s: 31.5 kA

Los tableros de baja tensión y centro de control de motores se emplean para distribuir la energía hacia los motores auxiliares y otros servicios auxiliares de la unidad. Cada tablero consiste de cubículos verticales para las secciones de salida y entrada. La sección de entrada alimenta a un sistema de barras común. Los cubículos de salida incluyen los alimentadores conectados a barras verticales.

Otras características de los paneles son:

- Tensión de operación 220 V
- Frecuencia 60 Hz
- Grado de protección IP21
- Alimentadores del tipo fijo.

4.2.8 SISTEMA DE SERVICIOS EN DC

Se tiene un sistema de respaldo con baterías confiable para los circuitos de control y transductores. El alimentador para este sistema viene del tablero en 220 V.

El sistema DC está constituido por las siguientes partes:

- Dos cargadores rectificadores para baterías (125 VDC) y un rectificador (48 VDC).
- Una unidad de control para cada cargador rectificador.
- Baterías de níquel cadmio alcalina tipo 125 VDC y 48 VDC.
- Un inversor 220 VAC / 125 VDC.
- Un panel de distribución en DC.

El rectificador tiene la capacidad suficiente para cargar las baterías y proveer la corriente a las cargas. Es del tipo estado sólido y regulación automática de voltaje. El cargador tiene modos de operación flotante y elevador. Adicionalmente se tiene un control manual de voltaje.

Baterías de placas tubulares plomo – ácido son la fuente de poder en caso de fallar la fuente normal desde el tablero de 220 V.

Cuando la fuente de 220 V se reestablece después de una corta falta de energía, el rectificador inicia la carga flotante. Después de una prolongada falta de energía y una alta descarga de la batería, se procede con la carga elevadora. El cargador de batería proveerá automáticamente una corriente constante ajustable para el estado inicial de recarga seguido del control automático de voltaje hasta el final de la carga elevadora, después de lo cual se continúa con el modo de carga flotante. El cargador es capaz de recargar las baterías en aproximadamente 8h después de una descarga total de las mismas. También se puede seleccionar la carga elevadora en forma manual.

Se dispone de un inversor para alimentar con energía AC a las cargas críticas. Este inversor se alimenta del sistema DC, ya sea del cargador o de las baterías.

La entrada del cargador tiene un interruptor termomagnético trifásico que lo protege también contra sobrecargas. La salida se protege con otro interruptor. También los paneles de distribución DC y AC tienen interruptores para la distribución en DC y AC.

4.2.9 GENERADOR DE EMERGENCIA DIESEL (STANDBY)

La función del generador de emergencia es la de realizar el arranque de la planta desde cero. Con la ayuda de esta unidad se produce la energía eléctrica necesaria para arrancar la unidad principal en el eventual caso de no contarse con energía eléctrica de otra fuente.

El motor es un motor diesel para trabajo pesado, de cuatro tiempos, ignición por compresión y con gobernador de velocidad y refrigerado por agua. El agua se encuentra en un circuito cerrado, pasando a través de un radiador provisto de ventiladores para enfriarla a la temperatura deseada de ingreso al motor. Se dispone de un sistema de expulsión de los gases de escape que incluye un silenciador.

Para el arranque se dispone de baterías de 24 V conjuntamente con un motor de arranque. El arrancador está acoplado directamente al motor y no posee cojinete. La excitación es del tipo sin escobillas. Utiliza un regulador electrónico voltaje automático. Se tiene un panel de control para el control del arranque / parada de la unidad y para la supervisión de la operación del grupo.

4.2.9.1 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL GENERADOR DE EMERGENCIA

La unidad de generación de emergencia es una unidad de 300 kVA, 230 V, trifásica, 60 Hz, 1800 rpm, y factor de potencia 0.8 e incluye los siguiente:

- Un motor de cuatro tiempos
- Un generador
- Baterías y motor de arranque de 24 VDC
- Sistema de combustible.
- Radiador incluyendo ventiladores.
- Sistema de expulsión de gases de escape
- Panel de control para el arranque automático.
- Un tanque de almacenaje de combustible.

4.2.10 SISTEMA CONTRA INCENDIOS

En una central hidroeléctrica existen diversos tipos de riesgos de fuego tales como cortocircuitos eléctricos en los tableros, generador, transformador de potencia, motores, etc.

Los sistemas seleccionados, que se mencionan a continuación, son los más utilizados para proteger según el tipo de riesgo o peligro, de acuerdo con las recomendaciones de los estándares de diseño aplicables.

El sistema contra incendios incluye los siguientes elementos:

- Red del sistema de detección
- Gabinete central de control y presentación remota en la entrada de la planta.
- Red hidrante.
- Red de compartimientos con mangueras
- Agua pulverizada.
- Sistema de aspersores.
- Sistema de CO₂.
- Extinguidores portátiles.
- Señalización.
- Sirenas de alarma

4.2.10.1 DETECCIÓN DE FUEGO

El sistema de detección de fuego es controlado por un panel de control basado en un microprocesador que se encuentra instalado en el cuarto de control. Adicionalmente se tiene un repetidor instalado en el edificio administrativo con monitoreo de detección completo, el cual posibilita el control de seguridad para determinar el origen de problema cuando se presenta.

Se cuenta con los siguientes tipos de detectores:

- Detectores de humo de ionización.
- Detectores térmicos fijos.
- Detectores de temperatura fijos y de pendiente de incremento.

4.2.10.2 RED DE HIDRANTES

Todas las instalaciones exteriores están protegidas contra incendios por un anillo de tubería que alimenta los hidrantes dentro de la casa de fuerza, y también se conecta a esta red una juego de pulverizadores de agua para el transformador de potencia en el exterior.

El anillos exterior incorporan válvulas de aislamiento. Toda la tubería del anillo esta pintada de rojo y es del tipo aérea.

4.2.10.3 RED DE COMPARTIMIENTOS CON MANGUERAS

Se tienen instalados dentro de la casa de fuerza, edificio de administración y edificio de almacenamiento, puntos de agua con mangueras contra incendios de 20m cada una. Partiendo del anillo externo de la red se tienen varios puntos de conexiones para la alimentación de equipos contra incendios. El anillo interno es solamente para alimentar los compartimientos con mangueras.

4.2.10.4 EXTINGUIDORES

Se han considerado extinguidores químicos portátiles para la primera intervención. Se tienen equipos de alta capacidad de extinción para las áreas eléctricas.

4.2.10.5 SISTEMA CO₂

Para la protección del generador se tiene una batería de balones conteniendo CO₂ a alta presión para inundar totalmente el recinto del generador en caso de incendio. La protección contra incendio se provee por medio del CO₂ que es forzado dentro del compartimiento de la maquina en dos pasos.

- Primero una emisión rápida para saturar el compartimiento de la máquina.
- Segundo una emisión lenta para mantener una adecuada concentración de CO₂ mientras la máquina se va deteniendo.

En el panel de control se encuentran los siguientes actuadores y anunciadores:

- Pérdida de alimentación en DC
- Detectores de fuego actuando
- Protección contra incendio actuando
- Selector de tres posiciones “Manual – Automático – Parada”.

En la posición de “Parada” la acción de la protección se elimina.

En la posición de “Manual” la protección se activa y se produce la emisión rápida de CO₂. En la posición de “Automático” la protección se activa solamente por los detectores de fuego.

La protección en automático puede operar o activarse por cualquiera de los relés de protección de la máquina. También se tienen dispositivos monitores, sobre los conductos de los cables de los detectores de fuego, que en caso de rotura o falla de los cables da una señal de alarma en el panel local.

Los paneles de control local llevan un registro cronológico de los eventos siguientes:

- Instalación “ Fuera de Servicio”
- Protección contra incendio actuando
- Protección térmica actuando
- Relés de protección del generador actuando.
- Las señales b), c) y d) son trasladadas al panel de la unidad de control.

Para eliminar el CO₂ después de la emisión se tiene un ventilador eléctrico capaz de evacuarlo y también un juego de deflectores para evitar ingreso de aire en la dirección opuesta. También se tiene un sistema automático de pesado de los balones de CO₂ para determinar la cantidad de CO₂ restante dentro de los balones.

4.2.10.6 SISTEMA DE ASPERSORES

El sistema de rociadores o aspersores de agua pulverizada es el sistema que se emplea para proteger al transformador principal de potencia. Es un sistema confiable y económico dentro del área del transformador principal de potencia.

4.3 PARTE MECÁNICA

4.3.1 TURBINA PELTON

(ver plano N° ME – 002)

4.3.1.1 DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA TURBINA

Tipo de Turbina:	Pelton de eje vertical con seis inyectores.		
Sentido de giro:	Horario visto desde el acople del rodete.		
Altura Neta:	H_{net}	241.00	m
Descarga:	Q	18.00	m^3/s
Potencia de salida:	P	39.00	kW
Velocidad nominal:	n	257.00	rpm
Velocidad de embalamiento:	n_R	449.00	rpm
Elevación del eje del rodete		1446.00	msnm

4.3.1.2 RODETE PELTON

El rodete es del tipo impulso con disco de rodete forjado en acero inoxidable cromo níquel. El rodete puede soportar las cargas impuestas por cualquier combinación de toberas en

operación a cualquier velocidad incluyendo la máxima de embalaje sin exceder los límites de esfuerzo.

4.3.1.2.1 Maquinado

Las superficies hidráulicas internas de las cucharas se maquinan cuidadosamente y con un acabado por horadoras axiales programables.

Los separadores divisores de las cucharas se acaban de forma tal que giren en un solo plano horizontal que pasa por el centro de las aberturas de las toberas.

El disco se maquina para generar una proyección macho al extremo del eje principal que encaje con la brida de acoplamiento, asegurando el adecuado alineamiento y centrado del rodete y se realiza un balanceado estático al rodete.

4.3.1.2.2 Conexión con el eje

El método de conexión del rodete con el eje de la turbina permite un retiro rápido y conveniente del rodete. El acoplamiento es del tipo fricción con

pernos pretensados que permiten un rápido cambio del rodete sin necesidad de maquinado. Los pernos y tuercas de acople están protegidos del agua cuando la turbina está en operación.

4.3.1.3 EJE DE LA TURBINA

El eje de la turbina incluye la sección del eje desde el acople al rodete de la turbina hasta la brida de acople del eje generador.

El eje de la turbina está diseñado para soportar la máxima potencia de salida de la turbina y la máxima fuerza radial, debidas a la carga hidráulica impuesta por tener una, dos, tres, cuatro o seis de las toberas en operación. Los ejes se diseñan para operar sin vibración dañina o deformación a cualquier velocidad incluyendo la máxima de embalamiento.

El eje de la turbina tiene una brida de acoplamiento forjada íntegramente en el extremo superior para ser conectada directamente con la brida hembra en la parte inferior del eje del generador. El extremo inferior del eje tiene una brida macho íntegramente forjada para su conexión con la brida hembra del rodete Pelton. El eje tiene una chumacera para el cojinete guía íntegramente forjada.

Se provee de un collar para soportar el rodete y la turbina cuando se requiera retirar el rotor y el eje del generador.

4.3.1.3.1 Acoplamiento del Eje

El acoplamiento entre el eje de la turbina y el eje de generador es del tipo fricción. El proveedor de la turbina provee los pernos y tuercas de acoplamiento tanto para el rodete como para el acople con el eje del generador. Los pernos son de acero tratado para soportar el pretensado. Las bridas en lado de la turbina cuentan con agujeros para pernos de desmontaje que facilitan el retiro del rodete.

4.3.1.3.2 Material

El eje se fabrica de acero al carbono de baja aleación con tratamiento de calor y se somete a una inspección por ultrasonido y se prueba el alineamiento del eje rotándolo después de ser instalado.

4.3.1.3.3 Alineamiento de los Ejes del Conjunto Turbina

Generador

El alineamiento de los ejes del conjunto combinado Turbina Generador lo realiza el personal mecánico del fabricante de la turbina en sitio, proveyendo de los protocolos de alineamiento correspondientes una vez efectuado el alineamiento.

4.3.1.3.4 Pruebas de Alineamiento

El fabricante de la turbina es el responsable de obtener el alineamiento apropiado. Los fabricantes de la turbina y el generador en conjunto realizan las correcciones necesarias a los ejes de la turbina y generador en caso las pruebas del alineamiento revelaran defectos, y se toma registro de todas las tolerancias de embalamiento finales.

El ensamblaje del acople de los ejes es responsabilidad del proveedor de la turbina.

4.3.1.4 COJINETE GUÍA DE LA TURBINA

El cojinete guía de la turbina es del tipo multizapata recubierta de metal blanco, es autoalienante y contiene su propio lubricante. Se ubica sobre el rodete y consiste de segmentos removibles y un soporte para el cojinete. El cojinete se arregla de tal forma que permita un movimiento vertical del rodete y eje en la cantidad recomendada por el fabricante del generador para poder ajustar y desmantelar el cojinete de empuje del generador, y lo suficiente para brindar espacio libre para el retiro de el macho y hembra del acoplamiento del eje.

4.3.1.4.1 Condiciones de Operación

El cojinete guía se diseña para soportar la carga máxima en la dirección horizontal, impuesta por el eje de la turbina para cualquier carga de operación y es capaz de operar continuamente sin dañarse y sin que la temperatura de las zapatas exceda los 70 °C a cualquier velocidad desde 50% a 110 % de la velocidad nominal.

4.3.1.4.2 Diseño y Fabricación

La carcasa del cojinete guía se parte verticalmente en dos secciones para facilitar su desmontaje. El soporte del cojinete guía se diseña para soportar el cojinete rígidamente y para transmitir la carga a la cubierta de la fosa del rodete. La carcasa del cojinete guía y el soporte se fabrican de plancha de acero y todos los componentes del cojinete se sujetan con clavijas en forma segura.

Las zapatas del cojinete se revisten con metal antifricción de alto grado. El revestimiento se ancla en forma segura a cada zapata y se maquina y ajusta en forma precisa para encajar apropiadamente en los ejes. El espacio libre dentro de la carcasa es lo suficiente para permitir que el eje pase a través de él.

4.3.1.4.3 Sistema de Lubricación

Para la lubricación del cojinete guía se usa aceite lubricante según norma ISO VG 46 o equivalente. El aceite circula por acción de una bomba centrífuga en

la chumacera. El sistema de lubricación se diseña con la siguiente finalidad:

- Proveer de lubricación al cojinete guía bajo cualquier condición de operación de las agujas.
- Para que la temperatura del cojinete guía no exceda los 60 °C bajo condiciones normales de operación.
- Evitar que el agua ingrese al sistema de lubricación bajo cualquier condición de operación, que no existan fugas ni sobreflujos de aceite en ninguna parte del sistema.

Las zapatas del cojinete se diseñan para que la rotación del eje fuerce el aceite desde el reservorio a través del espacio libre entre la zapata y el eje.

4.3.1.4.4 Reservorio de Aceite

El reservorio de aceite se ubica bajo suelo, cercano al cojinete principal desde el cual el aceite circula a través del cojinete. La mayor parte del cojinete esta continuamente inmersa en aceite para proveer la lubricación inicial en el arranque.

4.3.1.4.5 Tuberías y Uniones

Se tienen tuberías, uniones, válvulas y soportes de tuberías de características adecuadas para los diferentes sistemas como son el de lubricación, agua de refrigeración y drenaje de aceite dentro de la fosa de la turbina hasta un punto fuera de los límites del VACEADO de primera fase alrededor de la unidad. Las tuberías de agua y aceite son de material resistente a la corrosión. También se tienen conexión de bridas empernadas para facilitar tanto el montaje como el desmontaje para efectos de servicio y mantenimiento.

4.3.1.4.6 Instrumentos y Dispositivos del Cojinete

Tanto el cojinete como la carcasa del mismo se diseñan para la instalación de los siguientes dispositivos e instrumentos:.

- Indicador de nivel de aceite
- Indicador y detector de temperatura del aceite

- Interruptores de nivel muy alto (disparo), alto (alarma) , bajo (alarma) y muy bajo (disparo). Cada ajuste de nivel de aceite es independiente. Todos los contactos son del tipo acción instantánea. Los dispositivos de nivel y los interruptores se montan cerca del reservorio de aceite en un punto donde la vibración no provoque la operación del interruptor.
- Detector de temperatura por resistencia RTD para la zapata del cojinete con cables que van hacia la caja terminal de conexión instalada en la fosa de la turbina.
- Indicador de indicador de flujo de lectura directa para el agua de refrigeración con contactos de alarma y de disparo por bajo flujo completo incluyendo las bridas con las placas orificio.

4.3.1.5 TOBERAS DE POTENCIA Y AGUJAS

Las toberas de potencia que alimentan de agua a la turbina se han diseñado para producir un chorro uniforme y sólido. La toberas de potencia están provistas de un servomotor que opera directamente las agujas bajo el control del gobernador.

4.3.1.5.1 Operación

Por medio del sistema del gobernador se puede seleccionar el número de toberas o la combinación de toberas en operación normal. Esta selección toma en consideración el óptimo uso del agua disponible.

La operación de las agujas y los deflectores de chorro se acomoda a los cambios en la alimentación de agua con un mínimo de oscilación en la salida de la unidad y la elevación en la presión de la tubería de presión para no exceder el valor de diseño de la unidad (máxima altura estática y el máximo incremento en la presión admisible).

La agujas son balanceadas por resortes y otros medios para obtener una tendencia de cierre desde la posición totalmente abierto a totalmente cerrado en el caso de falla en la presión de aceite del gobernador bajo las alturas de operación aplicables.

4.3.1.5.2 Toberas

Cuerpo de la Tobera

La punta de la tobera es de acero cromo níquel. El cuerpo de la tobera es bridado para ser empernado a la carcasa del distribuidor. Se tiene una brida de ajuste entre las dos partes para facilitar el alineamiento vertical horizontal del ensamble de la tobera durante el montaje. Todas las uniones bridadas tienen sellos tipo O-ring.

Punta de la Tobera

La punta de la tobera está provista de un asiento removible de acero inoxidable en el punto de descarga final de agua. El retiro y remoción del anillo de asiento es posible sin afectar al rodete.

La superficie del pasaje de agua de la punta de la aguja y anillo de asiento son de un acabado muy fino.

Servomotor

La tobera está provista de un servomotor interno localizado dentro del pasaje de agua.

El servomotor es accionado por presión de aceite. Es del tipo doble acción y es de suficiente capacidad para mover la aguja hacia la posición de totalmente abierto o cierre total dentro del tiempo requerido con máxima altura y con un mínimo de presión de aceite del gobernador.

Tubería Interior de la Tobera

El servomotor se localiza dentro del cuerpo interno de la tobera y sujetado por dos o mas pestañas de perfil hidráulico. Estas pestañas están diseñadas para soportar las reacciones máximas en ambas direcciones del eje de la aguja. Las pestañas pueden ser soldadas a la carcasa del servomotor y al cuerpo de la tobera o bien todo puede ser un componente soldado.

Cilindro y Pistón del Servomotor

El cilindro del servomotor se hace de acero al carbón y es taladrado en forma precisa y provisto de sellos apropiados alrededor del eje de la aguja. Se tiene además las conexiones para las líneas de aceite a presión de control.

El pistón se encaja con unos anillos de plástico cuya forma permite un contacto uniforme y parejo sobre las paredes del cilindro.

Tuberías de Aceite

Se ubican dentro de la fosa del rodete. La tubería se ascienden hacia la fosa de la turbina y se conecta a la válvula de control. Se tienen los correspondientes soportes para la tubería. Las cubiertas de las tuberías que se conectan con el techo de la fosa del rodete se sellan para evitar el ingreso de agua a la planta de fuerza.

Ajustes del Servomotor

Se cuenta con indicadores que indican la posición de las agujas. Se tiene un sistema de traba hidráulico para cada aguja en el gobernador, por medio del cual se puede fijar el pistón del servomotor en forma segura, en cualquier extremo de la carrera del pistón, contra la presión máxima.

4.3.1.5.3 Agujas

El chorro es controlado por una aguja de punta renovable. La parte posterior de la aguja se emperna al vástago de la aguja para formar el ensamble de la aguja el cual es empernado y asegurado al eje de la aguja. El vástago de la aguja es de acero al carbón donde pasa a través del sello del vástago. El extremo aguas arriba del eje de la aguja se conecta al pistón del servomotor.

El ensamble de la aguja y el eje de la aguja son guiados por cojinetes contenidos en la carcasa del servomotor.

Control de las Agujas

La válvula de control de la aguja y el diseño del servomotor permiten ajustar los tiempos de apertura y cierre. El ratio de cierre se ajusta para las condiciones de operación requeridas por la turbina.

- El ajuste restringe el flujo de aceite para no permitir que la operación de algún control, elemento de seguridad o dispositivo auxiliar, mueva las agujas a una velocidad que exceda el máximo permisible.
- También se tienen medios para asegurar y enclavar el ajuste de la aguja.

La posición de la aguja se indica por medios electrónicos, convenientemente ubicados.

4.3.1.5.4 Recubrimiento contra la Erosión del Sedimento

Los anillos de las toberas y las puntas de las agujas tienen un recubrimiento cerámico. Con este recubrimiento se duplica el tiempo en el intervalo de mantenimiento y se reducen las pérdidas de eficiencia.

4.3.1.6 DEFLECTOR DE CHORRO

Para evitar el incremento excesivo de la presión en la tubería de presión y para asegurar una rápida respuesta y una apropiada regulación de la unidad, cada tobera de potencia posee un deflector. Estos son gobernados por un servomotor en coordinación con las agujas para que en el caso de un incremento de la velocidad, primeramente los deflectores actuarán sobre cada chorro y a continuación se cerrarán lentamente las agujas hasta que los chorros dejen pasar agua solo suficiente para mantener la velocidad. Los deflectores cierran el chorro cuando el cambio en la carga es tan rápido que no puede ser manejado por las agujas.

Los deflectores son del tipo corte y se coordinan para asegurar una actuación simultánea según lo requiera la operación. Bajo control normal de velocidad las agujas van a gobernar con el fin de no desperdiciar agua. Cuando se presentan rechazos de carga grandes, los deflectores desviarán parte del chorro hasta que la aguja llegue a la posición adecuada para asegurar mantener una velocidad normal de operación en con esa carga.

4.3.1.6.1 Diseño y Fabricación

El deflector se fabrica de acero inoxidable 13/4. El deflector es capaz de desviar completamente el chorro en un tiempo de 1.5 segundos para mantener el incremento de velocidad dentro de límites cuando se produce un rechazo de carga. El deflector se diseña para soportar el máximo de descarga de la tobera sin dañarse.

4.3.1.6.2 Diseño de la Unión

El eje sobre el que gira el deflector, gira sobre cojinetes autolubricados. El deflector se fija sólidamente al eje por medio de chavetas.

Los ejes de los deflectores que se elevan hacia el piso de la turbina y las palancas y varillas de conexión con el servomotor están provistas de cojinetes autolubricantes. En el caso de que el deflector se bloquee o atasque, el servomotor y sus enlaces se atascaran contra la presión máxima de aceite del gobernador no permitiendo que se exceda la presión de diseño.

Indicador de Posición

Cada cubo elevador de los deflectores tiene un indicador de posición para indicar en todo momento la posición del filo de corte del deflector con respecto a la línea de centro de la tobera.

4.3.1.6.3 Servomotor del Deflector

El servomotor del deflector tiene la capacidad de desviar el chorro completamente en 1.5 segundos cuando las agujas están totalmente abiertas, a la máxima altura y con un mínimo de presión de aceite del gobernador, pudiéndose variar el tiempo de cierre y de apertura total pudiéndose establecer independientemente cada uno.

El servomotor es del tipo aceite / resorte, actuando el resorte acciona el deflector cuando se pierde presión de aceite.

El cilindro del servomotor es de acero adecuado para la operación con aceite y diseñados para soportar la máxima presión hidrostática de aceite.

4.3.1.6.4 Dispositivo de Enclavamiento

Se dispone de un dispositivo de enclavamiento en el servomotor del deflector por el cual el pistón del servomotor se sujeta contra de la máxima presión de aceite.

4.3.1.7 CARCASA DE LA TURBINA

Consiste de dos secciones, la superior y la inferior. Ambas secciones se dividen en un número adecuado de secciones menores para efectos de embarque y transporte a obra. Las juntas del casco de la carcasa se fabrican para ser soldadas en obra.

4.3.1.7.1 Carcasa superior de la Turbina

La carcasa superior e inferior son de forma hexagonal en planta y la forma de la parte superior y los lados facilita una eficiente descarga del agua del rodete de la turbina.

La cubierta de la carcasa de la turbina con el soporte del cojinete principal es preparada para ser embebida

que forma el piso de operación en la fosa de la turbina y es hecha de acero estructural. La estructura de acero y concreto soporta el peso muerto del eje de la turbina y del rodete cuando el eje se desconecta del eje del generador, los cojinetes de los deflectores, la aguja de control restaurada, conexiones de tuberías y otros componentes que fueran necesarios. El diseño ha considerado el izamiento de las toberas y rodete utilizando las orejas de izamiento en diferentes partes de la carcasa.

Una vez removido el cojinete la abertura en la carcasa es lo suficientemente grande como para dejar pasar la brida de acoplamiento del eje del rodete.

4.3.1.7.2 Carcasa Inferior de la Turbina

La parte inferior de la carcasa es de construcción soldada y alcanza la plataforma de inspección y termina en el techo del conducto de descarga aguas abajo. El fondo de la carcasa incluye un anillo barbado con ménsulas soporte y tornillos de nivelación para nivelar la carcasa completa antes de

ser embebida. La forma de la sección inferior de la carcasa es la misma que la de la sección superior.

Se sella el distribuidor y otras aberturas en la carcasa para prevenir el ingreso de agua al concreto detrás de la carcasa.

También se sellan los agujeros a través de la cubierta de la carcasa por los que pasan los ejes de los deflectores, para evitar que el agua se fugue a través del techo, incluso bajo las mas severas condiciones de operación.

4.3.1.7.3 Conexión de Drenaje de la Tobera

Se dispone de un sistema para recolectar el aceite o agua que se fugue de las toberas. Las toberas drenan a un tanque común de acero, localizado en un lugar accesible fuera del distribuidor para asegurar el drenaje por gravedad.

Las tuberías de acero se ubican por debajo de las toberas protegidas de las salpicaduras directas del agua de operación y se conectan a puntos en la parte

inferior de la carcasa de la turbina. Las tuberías embebidas de la pared de la carcasa hacia el tanque de acero son de acero inoxidable.

El arreglo del tanque permite la verificación individual de cada drenaje en busca de fugas. El tanque tiene los necesarios controles de flotación y alarmas.

4.3.1.8 DISTRIBUIDOR

El distribuidor se extiende desde el lado aguas abajo de la junta de desensamblaje de la válvula esférica hasta las toberas. El distribuidor se fabrica de planchas de acero al carbón y el número de secciones es el menor posible.

4.3.1.8.1 Diseño

El diseño, la construcción y las pruebas no destructivas deben estar de acuerdo con los requerimientos del Código para Calderos y Recipientes Presurizados de la ASME, Sección 8, División 2. El distribuidor y su extensión pueden soportar la máxima presión que se pueda presentar en

operación, tomando en cuenta los incrementos de presión durante los cambios en la carga.

A pesar de que el distribuidor está completamente embebido en concreto, se considera que la estructura de acero actúa sola para efectos del análisis de esfuerzos sin contribución alguna del concreto circundante.

4.3.1.8.2 Fabricación

El distribuidor se entrega aliviado de esfuerzos después de la soldadura y antes del maquinado, y todas las juntas soldadas se verifican por el método ultrasónico.

4.3.1.8.3 Acoplamiento Tipo Manguito

El acoplamiento tipo manguito que conecta al distribuidor y su extensión aguas abajo de la válvula esférica, actúa como una junta desmontable. La junta representa una mínima perturbación hidráulica y pérdida de altura o presión y se le somete a prueba hidrostática.

4.3.1.8.4 Partes Embebidas

La parte inferior del distribuidor está provista de almohadillas para nivelación durante el montaje, así como de las gatas, varillas de lijación y elementos para realizar su alineamiento, nivelación y sujeción del distribuidor en posición durante el vaciado del concreto.

4.3.1.8.5 Conexiones para los Piezómetros

Se tienen cuatro salidas para medición de presión en los lugares donde las condiciones del flujo son mas favorables para una medición precisa de la altura de presión. Las salidas para medición de presión están uniformemente espaciadas alrededor de la circunferencia de la sección de entrada y están ubicadas a 45° de la línea de centro vertical.

4.3.1.8.6 Tubería de Drenaje

El distribuidor tiene una salida de drenaje de tubería para la remoción del agua antes de que la turbina pare

y se cierran las válvulas de by-pass. Para tal efecto se debe disponer de una válvula de compuerta operada manualmente ubicada en un lugar accesible. La válvula, la línea de drenaje y sus uniones deben ser capaces de descargar toda el agua de fuga bajo condiciones de máxima presión hidrostática.

4.3.1.8.7 Válvula de Aire

Una válvula de alivio de aire y vacío se ubica en el punto mas alto del distribuidor o la sección de entrada. La válvula de aire funciona como una ventila cuando el distribuidor se está llenando y funciona como un rompedor de vacío cuando se está secando. El cuerpo de la válvula y todas sus partes internas pueden soportar la presión de diseño de la turbina.

El distribuidor tiene un interruptor de presión y un interruptor operado por flotación junto a la válvula de alivio de aire. Los interruptores están incorporados a los circuitos de control de la válvula de entrada para prevenir la apertura de la válvula de entrada antes de que el distribuidor esté completamente lleno de agua.

Cada interruptor está provisto de dos contactos que actúan cuando el distribuidor está lleno de agua.

4.3.1.8.8 Ensamblaje y Pruebas

El distribuidor completo se probó a una presión de 1.5 veces la máxima presión de diseño en obra, después de finalizado su montaje y antes de ser embebido en concreto. El embebido en concreto se realiza a 0.75 veces la presión máxima de trabajo.

4.3.2 GOBERNADOR

El sistema comprende un gobernador hidráulico, un gabinete electrónico y un juego completo de sensores. El aceite hidráulico para la válvula de entrada lo provee una unidad hidráulica separada. La presión nominal de operación del gobernador es de 113 bar.

El gobernador consiste de lo siguiente:

Un tanque sumidero de plancha de acero soldada con una capacidad de 1000 l y provisto de lo siguiente:

- Dos motores directamente acoplados a bombas de desplazamiento variable, cada bomba incluye una válvula de regulación de presión y un filtro de aceite en la succión.
- Seis unidades de control de toberas, cada una consistiendo de una válvula de control (servo válvula).
- Una unidad de control de deflector, consistente en una servo válvula y una válvula de corte (válvula de cierre de emergencia).
- Un enfriador de aceite.
- Un agujero de acceso (agujero de hombre).
- Un juego de instrumentos (indicador de nivel de aceite, detector de contaminación en el agua, interruptor de bajo nivel de aceite, detector de temperatura).

- Un filtro dual con válvula de intercambio.
- Conexiones de drenaje y llenado.
- Caja de conexión terminal (los motores se conectan directamente al CCM).

Un sistema acumulador nitrógeno sobre aceite del tipo pistón, con un volumen total (aceite y gas) de 850 litros, y los siguientes componentes:

- Acumulador del tipo pistón con un volumen de aceite de 1510 litros, incluyendo interruptores de proximidad para monitorear la posición del pistón.
- Catorce botellas de nitrógeno, cada una de ellas con un volumen de 50 litros.
- Un juego de interruptores de presión.
- Un indicador de presión con válvula de aislamiento.
- Una válvula de recarga.
- Todo conectado a un múltiple por medio de válvulas y conectado al sistema remoto de recarga de nitrógeno.

Un tanque de fuga de aceite con una capacidad de 60 litros, provisto de:

- Una bomba de aceite con motor directamente acoplado incluyendo una válvula de alivio de presión.
- Un juego de interruptores de nivel para supervisión y control de la bomba.

- Un detector de agua en el aceite.
- Conexiones de drenaje y llenado.
- Un juego de tuberías y válvulas internas.
- Una caja terminal (el motor se conecta directamente al CCM).

Un cubículo para el gobernador electrónico equipado con lo siguiente:

- Un control digital de turbina completo incluyendo el CPU, la memoria para parámetros y programa con los necesarios módulos de salida y entrada análogas y binarias para satisfacer los requerimientos de control.
- Un fuente de poder redundante (convertidor DC / DC).
- Un panel de indicación y operación digital para generar los contactos de velocidad y señales de velocidad para indicación.
- Un juego de botoneras, interruptores y lámparas de indicación.
- Un juego de relés auxiliares.
- Un juego de bloques de terminales y cableado interno.
- Una lámpara interior (AC) con interruptor en la puerta.

Un juego de dispositivos de medición afuera del cubículo del regulador con los siguientes componentes:

- Un sistema de medición de velocidad digital con pickups electromagnéticos y rueda de polos fijada al eje de la turbina para

proveer una frecuencia proporcional a la velocidad de la unidad, incluyendo soportes de los pickups para el gobernador y el sistema de monitoreo de velocidad.

- Un transductor de potencia.
- Seis dispositivos digitales de retroalimentación para medir la posición de las agujas para el gobernador.
- Un dispositivo digitales de retroalimentación para medir la posición del deflector para el gobernador.
- Un interruptor de velocidad montado en el eje del generador.
- Un juego externo de válvulas y tuberías para interconectar las diferentes partes del sistema del gobernador, servomotores de las agujas y deflectores y los servomotores de la válvula de entrada.

4.3.3 VÁLVULA DE ENTRADA PRINCIPAL

Es una válvula mariposa del de corte, para brindar un cierre seguro y confiable bajo condiciones normales y de emergencia.

En operación normal, el cierre y apertura se dan bajo condiciones de altura de presión balanceadas. El movimiento del disco de la válvula puede ser invertido en cualquier momento durante la apertura o cierre.

La válvula es soportada por un pedestal de concreto y anclada con pernos de anclaje. La apertura de la válvula se realiza por medio de un servomotor con la presión de aceite del sistema de aceite a presión del gobernador. El cierre de la válvula se realiza por medio de contrapesos.

Datos Característicos de la Válvula

Presión de diseño	31 bar
Diámetro nominal	1900 mm

4.3.3.1 CUERPO DE LA VÁLVULA

El cuerpo de la válvula es de una sola pieza de planchas de acero soldadas. Después de un tratamiento por calor para aliviar los

esfuerzos, la zona de contacto del sello del disco de la válvula se cubre con una delgada soldadura de acero inoxidable.

4.3.3.2 BRIDAS

- El cuerpo de la válvula esta provisto con bridas con agujeros para ser empernadas a la brida aguas arriba y a la brida del tubo de inspección aguas abajo.
- Todas las bridas tienen empaquetaduras redondas de jebe apropiadas para las ranuras.

4.3.3.3 COJINETES

Los cojinetes auto lubricados de bronce pueden ser removidos sin retirar el disco de la válvula. El eje fijo y pivote son de acero inoxidable X 20 CR 13 (AFNOR Z-20 C-13 A-35.595).

4.3.3.4 SOPORTES

El cuerpo de la válvula esta provisto de pies para que la válvula sea montada y soportada con pernos sobre una base de plancha de acero anclada en el concreto. El diseño de los pies de la válvula permite el movimiento libre axial de la válvula, aguas arriba y aguas abajo, debido a las fuerzas hidráulicas que actúan sobre las válvulas.

4.3.3.5 DISCO DE LA VÁLVULA Y MUÑONES

El disco de la válvula es del tipo “Biplano” fabricada de planchas de acero soldadas, soportada en los cojinetes del cuerpo de la válvula por muñones de acero forjado A-510-D (AFNOR E-36-3) y acero fundido GS-20 Mn5 (AFNOR XC-10). El ensamble del disco de la válvula y muñones se montan horizontalmente en el cuerpo de la válvula. Las porciones de los ejes principales que pasan a través de los asientos y operan en áreas de empaque o de los cojinetes se protegen con un cubrimiento de inoxidable. Uno de los muñones es soldado integralmente a la estructura del disco y el otro es desmontable.

El diseño también considera que el eje esté descentrado con respecto al eje de la válvula para crear una tendencia hidráulica al cierre una vez que esta etapa comienza debido a contrapesos.

La placa plana de cierre no cruza el eje de rotación, de esta manera se asegura una línea circular de contacto al cierre.

4.3.3.6 MUÑÓN DEL COJINETE

Los cojinetes son del tipo manguito soportados integralmente en el cuerpo de la válvula. El diseño del cojinete permite realizar los ajustes necesarios desde el exterior de la carcasa el cojinete. Los cojinetes son del tipo libre de mantenimiento (auto lubricado).

En un lado, el asiento en el eje asegura la posición fija del cojinete y pivot sujetado al cuerpo de la válvula.

En el otro lado, el eje se hace mas largo y se le ubica en el cojinete y mantiene el contrapeso en un extremo.

4.3.3.7 SELLO

El sello es un anillo de jebe que encaja con la superficie metálica. El asiento de metal esta en el cuerpo de la válvula y el anillo de jebe en el disco de la válvula.

- Asiento de metal : El asiento de metal tiene una superficie de contacto de acero inoxidable AISI 304.

- Sellos de jebe: El anillo de jebe sella contra la superficie de acero inoxidable AISI 304. El anillo de jebe se monta en el disco de la válvula y es ajustable y reemplazable aguas debajo de la válvula. Todos los pernos, tuercas, tornillos, arandelas y otras partes son de material resistente a la corrosión.

4.3.3.8 EXTENSIÓN AGUAS ABAJO

Es de acero A-510 D (AFNOR 36-3) y tiene un acople tipo manguito para conectar la extensión de la tubería de salida de la válvula mariposa hacia la tubería del distribuidor por medio de pernos pretensados. Estas bridas de acoplamiento permiten desplazar la válvula en el eje de la tubería de presión para facilitar el montaje o desmantelamiento y da la posibilidad de reparar o reemplazar el sello aguas abajo. La tubería de conexión aguas abajo está equipada con una tubería by-pass.

4.3.3.9 CONEXIÓN A LA TUBERÍA DE PRESIÓN AGUAS ARRIBA

La válvula mariposa viene con una junta de acero a la tubería de presión con un diámetro de dos metros y termina aproximadamente 10m detrás de la casa de fuerza con el fin de

acoplarse al otro extremo de la tubería de presión la cual no es parte del suministro.

4.3.3.10 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE LA VÁLVULA

La válvula está fija a la fundación por medio de un sistema que permite que la válvula mariposa se deslice aproximadamente 7mm con respecto a la placa de deslizamiento (de acero al carbón).

4.3.3.11 VÁLVULA BY-PASS Y TUBERÍAS

El sistema by-pass tiene un diámetro de aproximadamente 10% del diámetro del múltiple y consiste de una válvula by-pass operada con la presión de aceite del gobernador y dos válvulas manuales de guarda.

4.3.3.12 MECANISMO DE OPERACIÓN Y CONTROL (SERVOMOTOR)

La apertura de la válvula es por medio de un servomotor de aceite de simple efecto tipo oscilante, que actúa sobre el disco de la válvula por medio de una leva fijada con chavetas al extremo

del eje. El servomotor está sobredimensionado para facilitar las operaciones que realiza como son:

- Abrir la válvula después de tener aproximadamente balanceadas las presiones en ambos lados del disco de la válvula a través del by-pass.
- Verificar el cierre bajo la acción de los contrapesos combinados con el efecto del acople hidromecánico que actúa como un amortiguador.

La acción de freno del servomotor en el extremo de la carrera hace que la operación se lleve a cabo en dos etapas ajustable por medio de diafragmas fijos en su interior. Se tienen interruptores de fin de carrera, contactos eléctricos O + P así como las correspondientes paradas y también indicador eléctrico tornillos que indican la correspondiente posición de cada tuerca.

Con el disco de la válvula en posición cerrada el servomotor tiene una luz de unos milímetros para garantizar el cierre por presión hidráulica (excentricidad) y que el dispositivo limitador de cierre está en el cuerpo de la válvula.

Para las conexiones se empleó tubería flexible de alta presión.

4.3.3.13 MECANISMO DE BLOQUEO PARA LA POSICIÓN CERRADO

La válvula está provista de un mecanismo de bloque manual con la válvula en posición cerrada para facilitar operaciones de mantenimiento.

También se tiene un interruptor de fin de carrera hacia un anunciador para indicar que el mecanismo de bloqueo está encendido.

4.3.4 SISTEMA DE SECADO Y DRENAJE

El sistema de drenaje drena las fugas de agua en la casa de fuerza del ducto de descarga a través de las juntas de construcción y el agua descargada por la turbina y tubería cuando la unidad se seca para realizar mantenimiento.

El agua drenada se lleva a una fosa de drenaje que contiene bombas motorizadas (una en servicio y una en stand-by) controladas por interruptores de nivel, bombean el agua hacia el canal de descarga.

4.3.5 SISTEMA DE AGUA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de agua de refrigeración de la central es del tipo abierto. Toma agua del canal de descarga y luego de realizar su paso por los intercambiadores de calor regresa al canal de descarga.

Se tomaron cuidadosas consideraciones dadas las necesidades de cribado y filtrado del agua cruda, utilizando filtros automáticos, para minimizar las paradas para limpieza y obtener así una confiable operación.

El sistema provee de agua de refrigeración para los siguientes sistemas:

- Generador
- Cojinete combinado del generador
- Cojinete guía del generador
- Cojinete guía de la turbina
- Sello de eje de la turbina
- Tanque sumidero

4.3.6 PUENTE GRÚA

La grúa está formada esencialmente por dos vigas cajón de alta resistencia a la deflexión y torsión, soportadas por dos portales, uno de los cuales es del tipo rígido y el otro del tipo pendular, para garantizar la isoestaticidad de la estructura a las constreñimientos de las vías.

Cada portal está formado por dos estructuras tipo cajón estándares conectadas por debajo por un travesaño sobre las que se engoznan las ruedas.

Las bridas superiores se unen a las dos vigas por electro-soldadura, los rieles para que viaje el carro de la grúa con paradas terminales relativas para el buffer del mismo carro.

En un lado de la viga se tiene un puente para peatonal para inspección, a nivel con la viga, de plancha estriada con barandillas y estribos.

Toda la estructura de la grúa está sobredimensionada para garantía absoluta contra deformaciones permanentes. La estructura garantiza una deflexión no mayor o igual a $1/750$ del vano, con una sobre carga del 10% y el carro al centro de las vigas.

En un extremo de la grúa puente se tiene una caseta cerrada y acondicionada para el operador de la grúa, conteniendo todos los dispositivos de control y accionamiento de la grúa.

A los dos extremos de los travesaños inferiores del portal, tienen fuertes parachoques amortiguadores, para absorber elásticamente la energía cinética de la grúa en una eventual choque durante su parada.

El puente tiene cuatro lengüetas para el anclaje de la grúa sobre sus vías, para garantizar una estabilidad absoluta cuando se encuentre fuera de operación contra cualquier peligro de volcadura.

El puente grúa es de construcción fuerte y de buenos acabados en todas sus partes y pintado para resistir una atmósfera agresiva. El puente grúa fue arenado grado 2. 1/2 antes del pintado.

4.3.6.1 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL PUENTE GRÚA

Vano:	18	m	
Capacidad de la grúa:	110	t	
Altura de izamiento:	8	m	
Velocidad de izamiento:	1.5/0.15	m/min	41/5.5 kW
Ajustador de la velocidad del carro:	10	m/min	1.5 kW x 2
a través del inversor			

Ajustador de velocidad del puente: 20 m/min 2.2 kW x 4
a través del inversor

4.3.6.2 MECANISMO DE TRASLACIÓN DEL PUENTE GRÚA

Está constituido por ocho ruedas de doble filo, subdivididas en cuatro rueda compensadoras que están directamente montados en caliente en los pasadores de acero de alta resistencia dentro del soporte de la brida con cojinetes auto-alienantes.

Cuatro de estas ruedas, dos para cada cabeza, son accionadas por engranajes de reducción ortogonales contenidos en un recipiente con baño de aceite y ejes montados sobre cojinetes de rodillos sin acoples de reducción exteriores.

Los mencionados engranajes de reducción se conectan a los motores con auto frenado accionados por inversor, por medio de acoples con bridas.

4.3.6.3 CARRO DEL MONTACARGAS

Está hecho de una fuerte armazón hecha de planchas de acero electro-soldadas, sobre las cuales se montan los mecanismos de

traslación e izamiento del montacargas tipo monobloque, sin necesidad de reductor de engranajes exterior.

4.3.6.4 MECANISMO DE TRANSLACIÓN DEL CARRO

Está constituido por cuatro ruedas de acero de doble borde, montada en caliente en pasadores de acero de alta resistencia en los soportes bridados de los cojinetes de rodillos. Dos de las mencionadas ruedas son accionadas directamente por el eje lento de el reductor que está acoplado a los respectivos motores auto-frenados accionados por inversor.

4.3.6.5 MECANISMO DE IZAMIENTO

Está constituido por un tambor de acero al carbón, con bobinas bi-helicoidales para el enrollamiento regular del cable, fijado por chaveta directamente al eje lento del reductor de izamiento.

El engranaje reductor diferencial se acopla a los dos motores para lograr las dos velocidades de izamiento.

El reductor está acoplado a los dos motores para lograr las dos velocidades de izamiento. El reductor está acoplado al motor de anillos rosantes primario (velocidad alta) por medio de un

acople flexible, sobre cuya banda externa actúa la zapata del freno electro-hidráulico.

El reductor está acoplado también al motor jaula de ardilla, auto frenado, bridado (velocidad lenta).

Para el izamiento se tiene un cable de acero de alta resistencia que, siendo recogido por poleas, realiza el izamiento con 12/2 de la caída del cable. El gancho doble hecho de acero según DIN 15402, gira por medio de cojinetes montados en el travesaño que lo soporta y lo protege un carter de plancha.

4.3.6.6 EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DEL PUENTE GRÚA

Todas las conexiones de la grúa se realizaron con conductores de cobre de alto aislamiento. Las secciones de los conductores corresponden a los valores según CEI 20-22.

Para la alimentación del carro del puente grúa se utiliza un cable tipo cinta, soportado por polines que corren en una slide de pequeña sección.

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1 DATOS INICIALES

Según la información incluida en el reporte de 1998 de EDEGEL, se espera que la central genere un promedio de 285 GW-h anuales y el monto de la inversión total asciende a 49.3 millones de USD, suma que asumiremos se realiza totalmente en el primer año de los tres años que se estima tomará el realizar los estudios definitivos e ingeniería, la fabricación, instalación y puesta en servicio de la central.

Según los datos estadísticos del INEI y de la DGE, el valor de venta promedio de 1 KW-h es de 4 a 10 centavos de USD. Para efectos del presente análisis tomaremos el menor (4 centavos de USD), con lo cual se tendrá un ingreso anual de USD 11.400.000 por venta de energía.

Además de los ingresos por venta de energía se tienen ingresos por pago por potencia instalada garantizada que varía entre 5 y 6 USD/KW instalado. Nuevamente tomaremos el menor valor que es de 5 USD/KW instalado.

Este factor no se aplica al total de la capacidad instalada de la planta sino a un porcentaje de la misma que resulta de ponderar la máxima demanda registrada en el sistema (aproximadamente 2,200 KW) distribuyéndola entre la capacidad instalada del sistema de acuerdo al tipo de central y sus características particulares. De acuerdo a este criterio se tiene una potencia garantizada por generador, que en este caso se estima ascienda al 40% de la capacidad instalada de la planta. Aplicando este factor se tiene que la potencia a firme garantizada será de 15.6 KW, lo cual se traduce en un ingreso adicional mensual de 936.000 USD, adicionales al ingreso por venta de energía.

Los costos operativos de una central de estas características se estiman en un 1% del monto total de la inversión inicial y los costos por mantenimiento en el 2% de este monto. Según lo anterior tenemos que los costos por concepto de mantenimiento y operación de la planta, ascenderían a USD 1.479.000 anuales.

En base a estos datos y considerando una tasa de descuento del 12% anual y una vida útil de la planta de 25 años, se realizaron los cálculos de la Relación Beneficio Costo (B/C), del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR) para el proyecto.

5.2 CÁLCULO DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO

(B/C)

5.2.1 BENEFICIO

Para el cálculo del Beneficio se debe tener en cuenta que en los primeros tres años no se registrarán ingresos pues es en éste período en el que se realizan los estudios, diseño y construcción de la central. Por consiguiente sólo se reportarán ingresos a partir de la puesta en servicio de la central a principios del cuarto año.

$$\text{Beneficio} = \frac{\text{Ingreso1}}{(1+TD)} + \frac{\text{Ingreso2}}{(1+TD)^2} + \dots + \frac{\text{Ingreso27}}{(1+TD)^{27}}$$

5.2.2 COSTO

Aplicando el mismo criterio aplicado al cálculo del beneficio, los costos por concepto de mantenimiento y operación de la central sólo se consideran a partir de la entrada en operación comercial de la central a partir del cuarto año.

$$\text{Costo} = \text{Inversión} + \frac{\text{Gasto1}}{(1+TD)} + \frac{\text{Gasto2}}{(1+TD)^2} + \dots + \frac{\text{Gasto27}}{(1+TD)^{27}}$$

5.2.3 RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)

En la tabla que se presenta a continuación se tienen los valores de cada uno de los monomios de las ecuaciones de Beneficio y Costo. Nótese que para los años décimo, décimo octavo y vigésimo sexto, los valores de los ingresos decrecen. Esto se debe a que en ese año se ha considerado realizar un mantenimiento mayor el cual implica una pérdida de ingresos por consecuencia de la parada programada de la planta. Se ha estimado que la parada programada disminuye en 15% las horas anuales de operación de la planta para ese año y por consiguiente los ingresos disminuyen en la misma proporción. Los costos por estas paradas se encuentran incluidos en los gastos y prorrateados durante la vida útil de la planta.

De los valores acumulados se determina la relación Beneficio Costo (B/C) que en este caso presenta un valor de 1.3, como se indica al final del cuadro.

Cabe señalar que en la práctica los desembolsos de la inversión se realizan en forma escalonada, siendo los mayores aquellos destinados a la compra de equipo, construcción e instalación de los mismos, los cuales se han tomado como un monto total actualizado de inversión que asciende a USD 49.300.000.

**TABLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN
BENEFICIO COSTO (B/C)**

Año	Ingreso	Gasto	Año	Ingreso	Gasto
0	-	49.300.000	14	2.524.190	302.633
1	-	-	15	2.253.741	270.208
2	-	-	16	2.012.269	241.257
3	8.780.521	1.052.723	17	1.796.669	215.408
4	7.839.751	939.931	18	1.363.543	192.329
5	6.999.778	839.224	19	1.432.293	171.722
6	6.249.802	749.307	20	1.278.833	153.323
7	5.580.180	669.024	21	1.141.815	136.896
8	4.982.304	597.343	22	1.019.478	122.228
9	4.448.485	533.342	23	910.248	109.132
10	3.376.083	476.198	24	812.722	97.440
11	3.546.305	425.177	25	725.644	87.000
12	3.166.344	379.622	26	550.712	77.678
13	2.827.093	338.949	27	578.479	69.356
Totales Ingresos y Gastos				76.197.282	58.547.451

$$\boxed{B/C = 1.30}$$

5.3 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Como se indicara anteriormente, la tasa de descuento (TD) que emplearemos es del 12% anual. El beneficio neto (BN) es la diferencia entre los ingresos y gastos estimados para cada año, de lo cual tenemos que el Valor Actual Neto se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{VANecon} = - \text{Inversión} + \frac{\text{BN1}}{(1+\text{TD})} + \frac{\text{BN2}}{(1+\text{TD})^2} + \dots + \frac{\text{BN27}}{(1+\text{TD})^{27}}$$

Siendo BN la diferencia entre el ingreso y el gasto estimado que asciende a USD 10.857.000 (USD 12.336.000 – USD 1.479.000) para un año normal y a USD 9.006.600 (USD 10.485.600 – USD 1.479.000) para aquellos años en los que se requiera realizar un mantenimiento mayor (décimo, décimo octavo y vigésimo sexto) en los cuales, como se mencionara anteriormente, los ingresos disminuyen en 15% a consecuencia de la parada programada de mantenimiento.

Siguiendo el mismo criterio empleado para el cálculo de la relación beneficio costo se presenta a continuación una tabla en la que se muestran los valores calculados de cada monomio de la fórmula para el cálculo del Valor Actual Neto del proyecto.

**TABLA DE CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO
(VAN)**

Año	BN	VAN	Acum.	Año	BN	VAN
0	-49.300.000	-49.300.000	-49.300.000	14	10.857.000	2.221.557
1	-	-	-49.300.000	15	10.857.000	1.983.533
2	-	-	-49.300.000	16	10.857.000	1.771.012
3	10.857.000	7.727.798	-41.572.202	17	10.857.000	1.581.261
4	10.857.000	6.899.820	-34.672.382	18	9.006.600	1.171.215
5	10.857.000	6.160.553	-28.511.829	19	10.857.000	1.260.571
6	10.857.000	5.500.494	-23.011.335	20	10.857.000	1.125.510
7	10.857.000	4.911.155	-18.100.179	21	10.857.000	1.004.920
8	10.857.000	4.384.960	-13.715.219	22	10.857.000	897.2550
9	10.857.000	3.915.143	-9.800.076	23	10.857.000	801.116
10	9.006.600	2.899.884	-6.900.192	24	10.857.000	715.282
11	10.857.000	3.121.128	-3.779.064	25	10.857.000	638.645
12	10.857.000	2.786.721	-992.342	26	9.006.600	473.034
13	10.857.000	2.488.144	1.495.802	27	10.857.000	509.124
Total VAN						17.649.830

De esta tabla se puede inferir que el tiempo aproximado de recuperacion de capital se encuentra entre el décimo y onceavo año, después de haber entrado en servicio comercial la planta.

5.4 CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

(TIR)

Finalmente se debe determinar la Tasa Interna de Retorno de capital, la cual conjuntamente con el VAN nos permitirán determinar si el proyecto es factible o no. Para determinar la Tasa Interna de Retorno (TIR), se procederá a calcular la máxima tasa que soporta el proyecto para hacer el Van igual a cero, es decir, el máximo rendimiento que puede dar el proyecto. Para esto se varia el valor de la Tasa de Descuento empleada para determinar el VAN, hasta que se logre obtener un VAN igual a cero (las herramientas de computación facilitan enormemente este proceso iterativo).

Luego de realizar varias iteraciones se determinó el siguiente valor para la TIR:

$$\boxed{\text{TIR} = 15.81}$$

CONCLUSIONES

En cuanto a la inversión

En base a los cálculos efectuados y con la información disponible se considera el proyecto un proyecto factible, con una tasa de retorno adecuada si tomamos en cuenta las condiciones de estabilidad económica que se observaban en 1996 para el Perú y con altos índices proyectados de crecimiento del mercado eléctrico nacional.

De la tabla del cálculo del VAN, se puede apreciar lo vulnerable que son este tipo de inversiones con respecto a las perspectivas de estabilidad de un país pues al ser el período de recuperación de capital tan largo, problemas como los de terrorismo que enfrentaba el país en la década del 80', podrían prolongar considerablemente el tiempo de ejecución de los trabajos, incrementar los costos en seguridad de la planta e incluso la operación misma de la planta lo cual afectaría seriamente la tasa de retorno de capital con el consecuente

incremento del valor actual neto del proyecto, pudiendo incluso llegar a hacerlo inviable, desde el punto de vista del inversionista.

Cabe señalar que no se han considerado futuros aumentos en los ingresos por concepto de aumento del precio de venta de energía debido a considerar esta presunción improbable dadas las condiciones actuales del mercado y la probable baja en los costos marginales de los generadores térmicos como resultado de la llegada del gas de Camisea a Lima en el año 2003 o 2004, lo cual disminuiría el precio de venta de energía en las horas punta que es cuando, por lo general, las centrales térmicas despachan.

En cuanto a limitaciones para el transporte

Un factor preponderante en la forma como se estructura el suministro son las limitaciones para el transporte. A través de la carretera central por ejemplo, las limitaciones en peso y dimensiones para el transporte de carga según las regulaciones vigentes, limitan las dimensiones de la carga a los siguientes valores de 3.80 m de alto, 2.60 m de ancho, y el peso bruto total máximo a 48t. Si bien es cierto los puentes de la carretera central están diseñados para soportar 60 toneladas, que los factores de seguridad empleados en el diseño de estos puentes podrían permitir cargas superiores y que haciendo una distribución de pesos en las baja camas los transportistas pueden reducir el peso efectivo sobre el puente (en vanos cortos), en ocasiones es preciso realizar

estudios que podrían significar el realizar reforzamientos de los puentes lo cual implica incremento de costos para la partida de transporte.

Las temporada de lluvias es otro punto importante a considerar a la hora de hacer la programación de los trabajos y especialmente del transporte de los equipos para evitar riesgos innecesarios de daños al personal y equipos.

Durante la época de lluvias se deben tomar las medidas necesarias para evitar que deslizamientos de lodo y desprendimientos de rocas puedan causar daños al personal en obra y a los equipos.

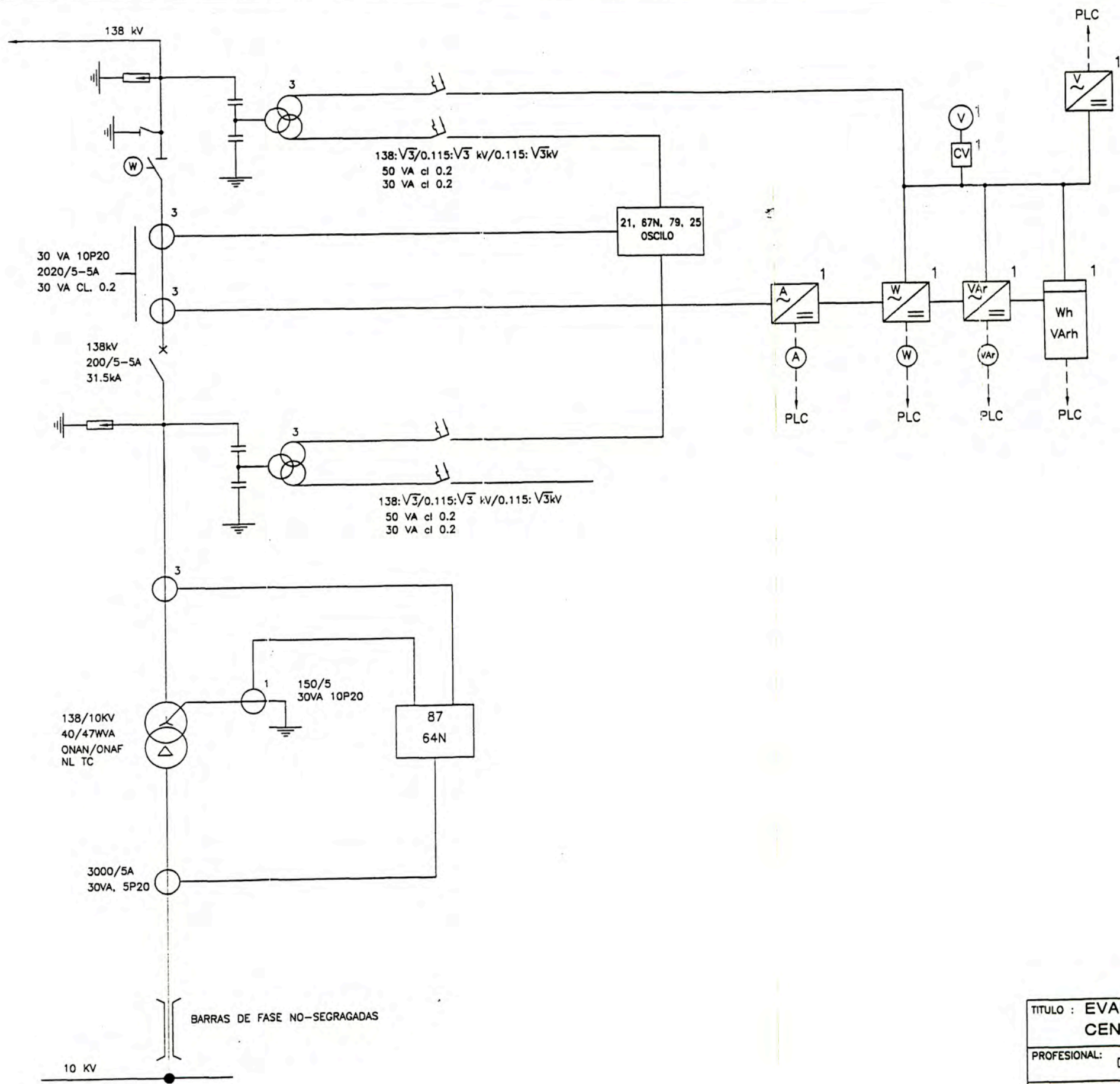
Se debe tener especial cuidado de verificar el buen estado de los equipos luego de su transporte. Para ello se debe verificar durante el desaduanaje, que los equipos no muestran daños.

En cuanto a la cimentación de Equipos

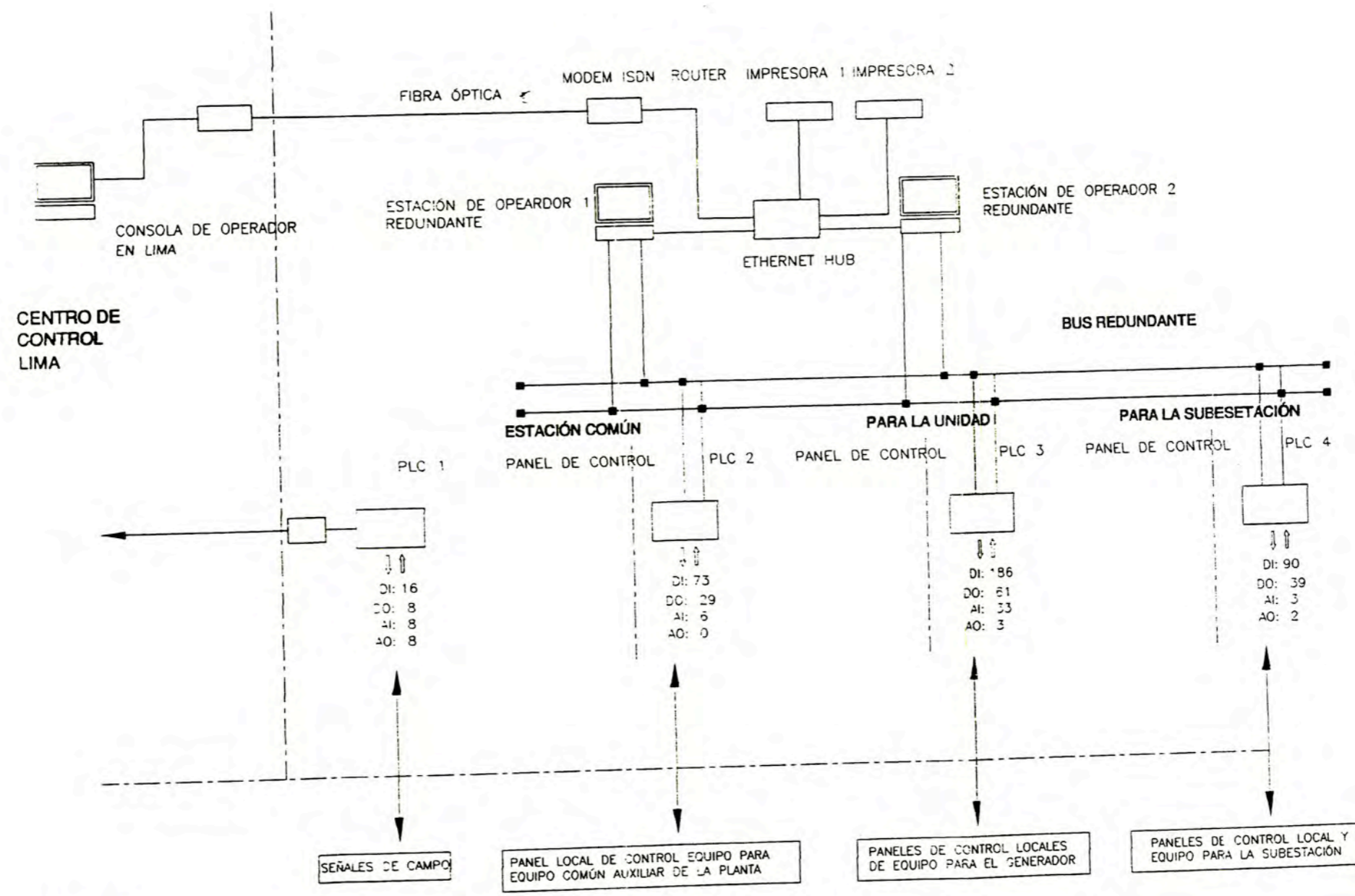
Para poder realizar el diseño de la cimentación de los equipos pesados como son el generador, la turbina y los transformadores principales, el fabricante debe proporcionar datos de los pesos estimados de cada uno de ellos a los encargados de realizar la ingeniería civil de detalle con la suficiente antelación para poder ser considerados correctamente en la etapa de diseño civil.

BIBLIOGRAFÍA

- Reportes Estadístico de Operación del SICN - COES
- Anuario Estadístico del Ministerio de Energía y Minas.
- Anuario estadístico de 1995 – INEI.
- Anuario estadístico de 1996 – INEI.
- Anuario estadístico de 1997 – INEI.
- Reporte Anual de Edegel 1998.
- Separatas de Seminario profesional sobre Proyectos de Centrales Hidroeléctricas – Criterios para equipamiento Mecánico.
- Hydro Plant Electrical Systems – David M. Clement.
- Hydropower Mechanical Design – ASME Hydro Power Technical Committee.
- Datos estadísticos del SENAMHI.



TITULO : EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 45 MVA			
PROFESIONAL:	DANTE ARIEL CARRILLO SALAS		PLANO No.
PLANO:	DIAGRAMA UNIFILAR TRANSFORMADOR Y PATIO DE LLAVES EN 138 KV		IE - 002
DIB.:	DCS	ESC.: S/E	FECHA: SET-2000



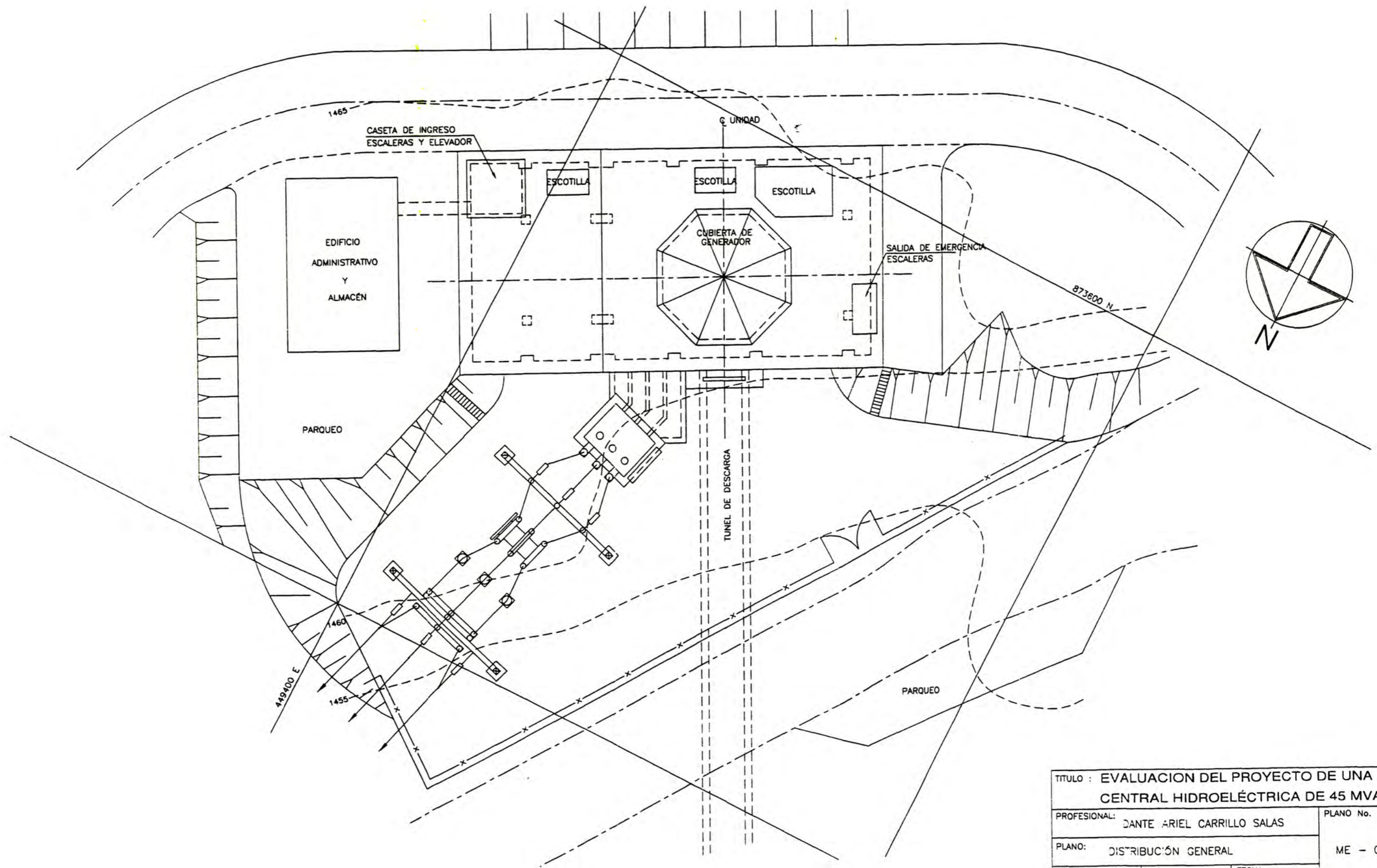
CUARTO DE CONTROL

NOTAS :

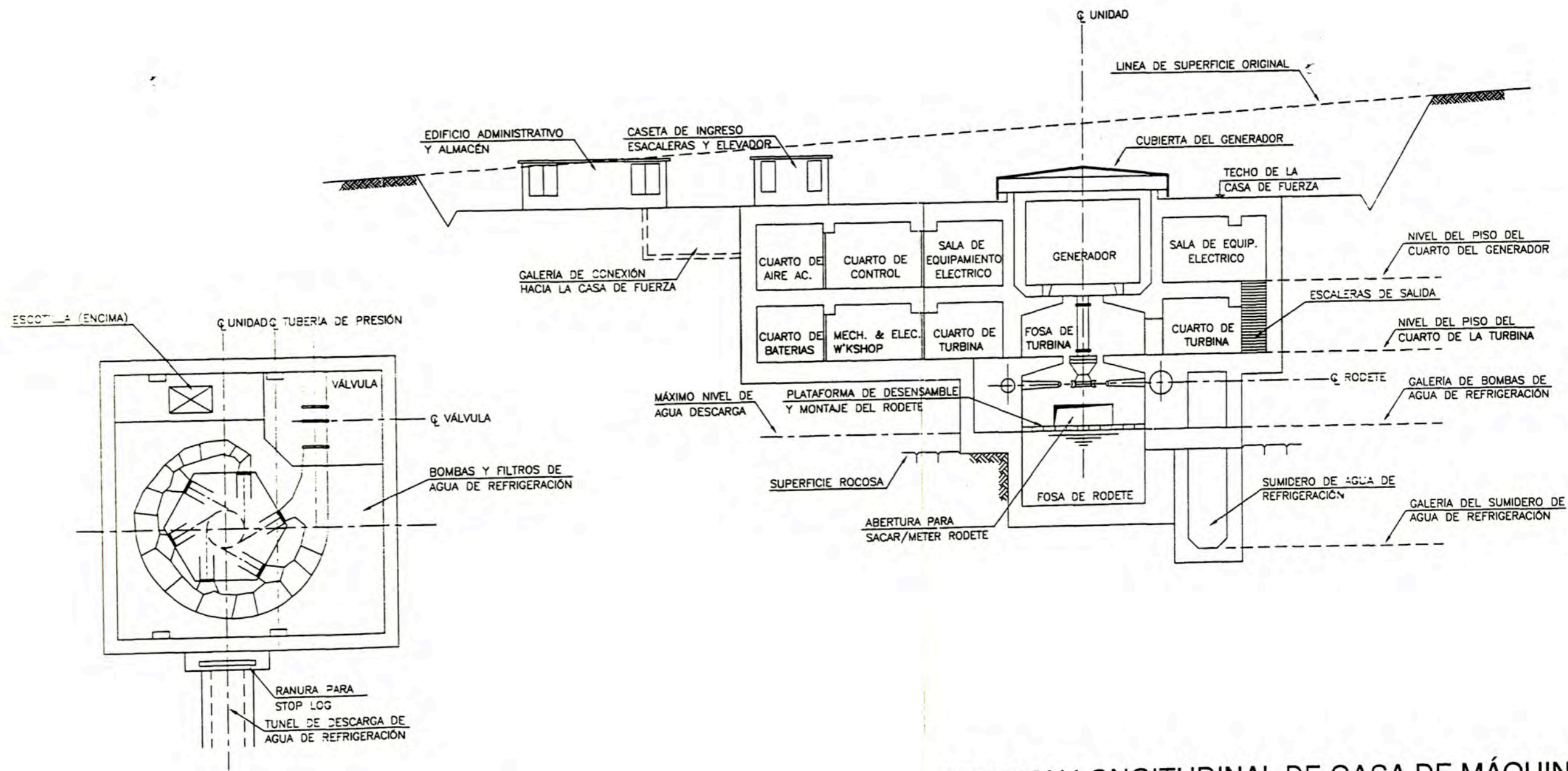
DI: ENTRADA DIGITAL
 DO: SALIDA DIGITAL
 AI: ENTRADA ANALÓGICA
 AO: SALIDA ANALÓGICA

SISTEMA DE CONTROL

TITULO		EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 45 MVA	
PROFESIONAL:	DANTE ARIEL CARRILLO SALAS		PLANO No.
PL-NO:	ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL		SC - 001
DIB:	ESC:	FECHA:	
003	3/E	SET-0100	



TITULO : EVALUACION DEL PROYECTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 45 MVA			
PROFESIONAL: DANTE ARIEL CARRILLO SALAS			PLANO No.
PLANO: DISTRIBUCIÓN GENERAL			ME - 001
DIB.: DCS	ESC.: S/E	FECHA: SET-2000	



VISTA DE PLANTA DE LA TURBINA

SECCION LONGITUDINAL DE CASA DE MÁQUINAS

TITULO : EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 45 MVA			
PROFESIONAL:	DANTE AR EL CARRILLO SALAS		PLANO No.
PLANO:	VISTA DE PLANTA Y SECCION LONGITUDINAL DE LA CASA DE MAQUINAS		ME - 002
DIB.:	DCS	ESC... 3/E	FECHA: SET-2000

PLANOS

PLANO	TITULO
IE – 001	Diagrama Unifilar del Generador
IE – 002	Diagrama Unifilar de Transformador Principal y Línea en 138 kV
SC – 001	Esquema de Sistema de Control
ME – 001	Distribución General
ME – 002	Vista de Planta y Sección Longitudinal de la Casa de Máquinas

APENDICES

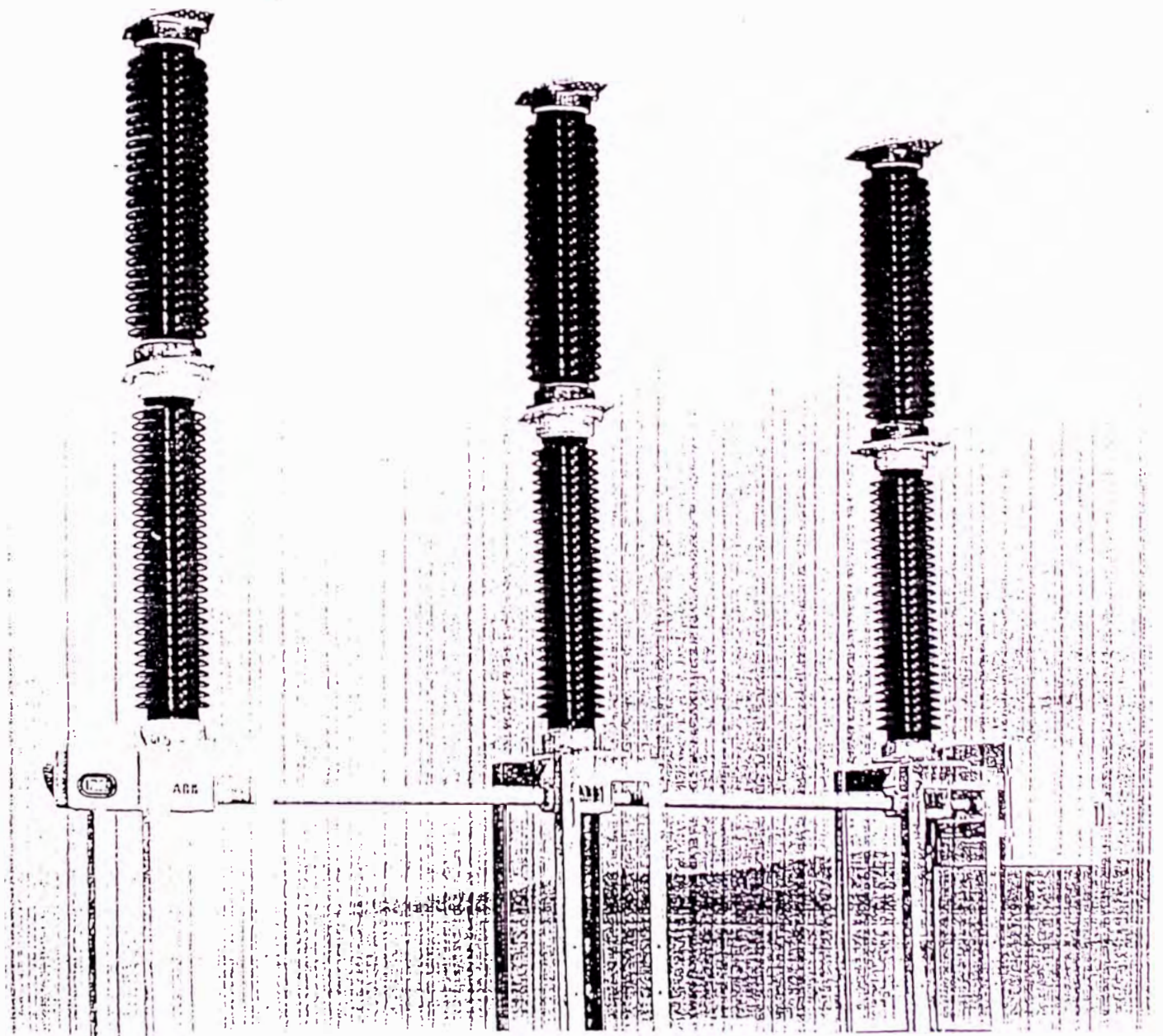
- Información técnica sobre Interruptores F6
- Información técnica sobre Seccionadores Giratorio
- Información técnica sobre Transformadores de Corriente
- Información técnica sobre Transformadores de Tension
- Información técnica sobre del Pararrayo
- Información técnica sobre Relés Diferenciales
- Información técnica sobre Relés de Frecuencia
- Información técnica sobre Relés de Medición de Voltaje y Corriente
- Información sobre Turbinas Pelton

Interruptor SF₆ LTB D1

B.D. ESSUB/A-2105-6
1992-05

Interruptor de SF₆ LTB D1
con "Auto-Puffer™"
para intemperie

Tensiones nominales	72,5—170 kV
Corrientes nominales	2500/3150 A
Capacidades nominales de corte	31,5/40 kA
Frecuencias nominales	50 y 60 Hz



LTB 1.45 D1 con mecanismo de accionamiento por resortes tipo B.L.K

ABB Subestaciones, S.A.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

Introducción

El interruptor LTB de SF₆ es el primer interruptor desarrollado conjuntamente dentro del grupo ABB. El diseño se ha llevado a cabo a partir del conocimiento y la experiencia de las series de interruptores HPL y EDF.

La energía requerida para la interrupción de la corriente de cortocircuito se toma parcialmente del mismo arco, reduciéndose por tanto la energía tomada del mecanismo de accionamiento a menos del 50% de la necesaria en un interruptor de SF₆ tipo puller convencional. El menor requerimiento de energía proporciona una elevada fiabilidad.

El interruptor LTB emplea un mecanismo simple y fiable accionado por resortes, del tipo, operado mecánicamente, BLK. Ofrece un diseño optimizado para operación tripolar o unipolar.

El interruptor LTB cumple con la norma internacional (CEI) y otras importantes recomendaciones como ANSI, DIN, etc.

El diseño del interruptor LTB es para 72,5 - 170 kV y para corrientes nominales de interrupción de 31,5/40 kA.

El interruptor LTB es el miembro más reciente de la familia de interruptores tipo SF₆ de ABB que cubre el rango de tensión desde 72,5 hasta 800 kV, y con capacidades de corte hasta 80 kA.

Principales características y ventajas

El interruptor LTB, que satisface las mayores exigencias y recoge los últimos desarrollos basados en investigación de circuitos eléctricos, aporta las siguientes ventajas:

Interrupción sin recebados de corrientes capacitivas gracias a la elevada rigidez dieléctrica inherente del gas SF₆ y la optimización del movimiento de contactos.

Bajas sobretensiones cuando se interrumpen corrientes inductivas como resultado de una extinción óptima al pasar la corriente por cero.

Elevada rigidez dieléctrica incluso a presión atmosférica del gas SF₆, debida a la amplia distancia entre contactos abiertos.

Bajo nivel de ruidos, que lo hace adecuado para instalación en áreas urbanas.

Diseñado para condiciones ambientales extremas.

Elevada capacidad sísmica debido al diseño optimizado del polo y la estructura.

Fiabilidad superior debido a:

- Reducidas fuerzas de maniobra.
- Contactos de arco independientes de los principales.
- Dobles anillos tóricos de cierre en todas las juntas que proporcionan bajo nivel de fugas.
- Componentes fiables.

Libre de mantenimiento en condiciones normales de servicio.

Facil instalación y puesta en servicio.

Diseño

Los tres polos del interruptor pueden montarse en estructuras individuales o en una estructura soporte común.

En el caso de maniobra tripolar, los polos del interruptor están entrelazados entre sí y al mecanismo por medio de tirantes.

El muelle de apertura es solidario a un extremo del tirante y al otro extremo con el mecanismo de accionamiento.

Cada polo del interruptor constituye una unidad herméticamente cerrada, que incluye la cámara de interrupción, el aislador soporte y la caja de mecanismos.

El polo del interruptor se rellena de gas SF₆ a las siguientes presiones:

• TB para 72,5 - 145 kV:

- 0,5 MPa (abs.) de SF₆ para funcionamiento hasta -40°C
- 0,5 MPa (abs.) con una mezcla de gases para funcionamiento hasta -50°C.

• TB para 170 kV:

- 0,7 MPa (abs.) de SF₆ para funcionamiento hasta -30°C.
- 0,7 MPa (abs.) con una mezcla de gases para funcionamiento hasta -40°C.

La fiabilidad funcional y la vida útil en servicio de un interruptor SF₆ dependen de su capacidad para mantener la presión del gas SF₆ y neutralizar los efectos de la humedad y productos de descomposición del gas:

- Se usan dobles juntas tóricas de goma de nitrilo para el sellado, con excelentes resultados.
- Cada cámara está provista de un absorbente. El agente absorbente retiene tanto la humedad como los productos de descomposición del proceso de interrupción.
- Puesto que la capacidad de interrupción depende de la densidad del gas SF₆, el interruptor LTB está provisto de un monitor de densidad común para los tres polos. El monitor consiste en un contacto de presión independiente de la temperatura. Las variaciones de presión dependientes de la temperatura son compensadas por un volumen de referencia herméticamente cerrado, y por esta razón únicamente se genera una señal de alarma en caso de descenso de presión debido a una fuga de gas.

Para más detalles pedir información adicional.

Accionamiento tipo BLK

El interruptor LTB es accionado por un mecanismo de cierre por resortes tensados a motor, tipo BLK, instalado en un recinto cerrado, compacto, a prueba de salpicaduras de agua y resistente a la corrosión. Se utiliza un BLK para maniobra tripolar y tres BLK para maniobra unipolar.

A la vista del menor requerimiento de energía, en el interruptor LTB ha sido posible introducir un nuevo mecanismo de accionamiento. El diseño está basado en un resorte espiral y se caracteriza por su mínimo número de componentes mecánicos que asegura un alto grado de fiabilidad total.

La unidad de energía se caracteriza por los siguientes, y robustos, componentes principales:

El resorte espiral de cierre que actúa directamente sobre la palanca del interruptor sin ningún disco de leva, enlace o eje.

- El resorte espiral se carga con un pequeño motor universal.
- Los trinquetes de cierre y disparo son idénticos, de actuación rápida y seguro contra vibración.
- Se incluye un amortiguador para retardar el movimiento del sistema de contacto hacia la posición final.

El equipo auxiliar se caracteriza por los siguientes componentes principales:

- Contactos auxiliares robustos.
- Contactos fin de carrera robustos.
- El indicador de estado del muelle de cierre.

Para detalles adicionales véase catálogo ESSUBA 2105 17

Datos técnicos

Valores que cumplen con las normas CEI 56 (50Hz) y ANSI C37 (60Hz)

			Tipo LTB... D1			
			72,5	123	145	170
Tensión nominal	CEI	kV.	72,5	123	145	170
	ANSI	kV.	72,5	121	145	169
Tensión soportada a frecuencia industrial						
— 1 min. seco	CEI	kV.	140	230	275	325
— 1 min. húmedo	CEI	kV.	140	230	275	325
— 1 min. seco	ANSI	kV.	160	260	310	365
— 10 seg. húmedo	ANSI	kV.	140	230	275	315
Tensión soportada onda tipo rayo (LIWL)						
— Onda completa 1.2/50µs	ANSI	kV.	350	550	650	750
— Onda cortada 2µs	ANSI	kV.	452	710	838	968
— Onda cortada 3µs	ANSI	kV.	402	632	748	862
Línea de fuga a tierra ¹⁾²⁾						
— Normal		mm.	1700	3040	3040	5045
— Larga		mm.	2160	4015	4015	5790
Línea de fuga sobre elementos de interrupción ¹⁾²⁾						
— Normal		mm.	2900	2900	2900	4850
— Larga		mm.	3800	3800	3800	5550
Corriente nominal		A.	2500/3150			
Corriente nominal de corte		kA.	31,5/40			
Factor del primer polo			1,5			
Corriente de cierre (cresta)		kA.	85/108			
Duración del cortocircuito		seg.	3			
Tiempo de cierre		ms.	40			
Tiempo de apertura		ms.	20			
Tiempo de interrupción		ms.	40			
Tiempo muerto		ms.	300			
Tiempo nominal de reenganche, 60 Hz	ANSI	ciclos	20			
Ciclo nominal de maniobra	CEI y ANSI		O - 0,3 seg. - CO - 3 min. - CO CO - 15 seg. - CO			

¹⁾ Otros valores bajo pedido

²⁾ Tolerancias conforme con CEI 233

Transporte y montaje

Los polos del interruptor LTB se transportan como unidades completas rellenos de gas SF₆ con ligera sobrepresión. Como el interruptor ya se ha montado y se le han realizado ensayos de rutina en fábrica, el trabajo de montaje en obra puede ser fácilmente efectuado en un día.

El relleno de SF₆ a la presión especificada puede facilitarse usando los siguientes equipos de presurización:

- Una válvula de control especial para conectar a la botella de gas SF₆ y 50 m. de manguera con conector.
- Válvula complementaria de control para conectar a la botella de gas N₂ (cuando se use mezcla de gases).

Versiones opcionales del interruptor

Larga línea de fuga a través de aisladores, válida para porcelana marrón o gris. (Valores conforme a tabla, mayores bajo pedido).

Accesorios para instalación de transformadores de corriente tipo IMBD para LTB 72,5, 123 y 145

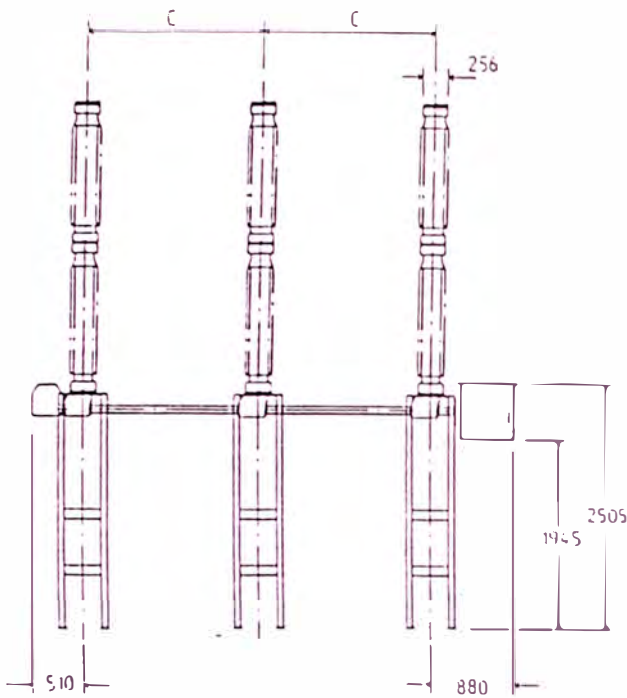
- Soportes fijados a los pilares de la base.

- Conexiones primarias entre IMBD y LTB.
- Terminales especiales (el standard es terminal plano):
 - Cilíndrico de cobre estanoado 40/125 mm
- Distancia especial entre fases.
- Discos de ruptura.

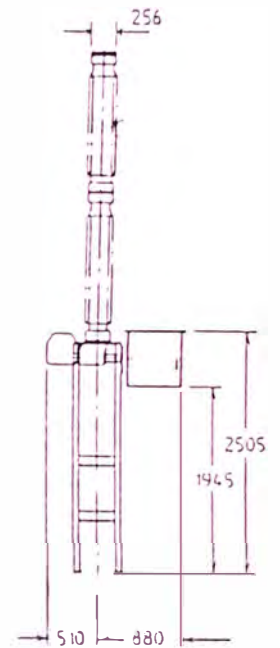
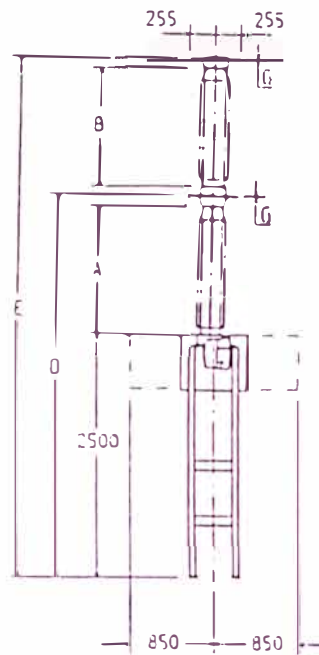
Dimensiones

El diseño, características y dimensiones están sujetos a modificación sin previo aviso.

LTB...D1 72,5 - 170 kV,
Soporte de tres columnas,
operación tripolar



LTB...D1 72,5 - 170 kV,
Soporte de tres columnas,
operación unipolar



Dimensiones, mm.

Interrupción	A	B	C	D	E	F	G ¹⁾	G ²⁾
Tipo LTB 72 D1	670	1165	1050	3280	4625	1500	15	20
Tipo LTB 123 D1	1220	1165	1750	3830	5175	2530	15	20
Tipo LTB 145 D1	1220	1165	1750	3830	5175	2530	15	20
Tipo LTB 170 D1	1520	1475	2000	4130	5735	2530	15	20

1) = 31,5 kA. 2) = 40 kA.

LTB...D1 72,5 - 170 kV,
Soporte de dos columnas,
operación tripolar

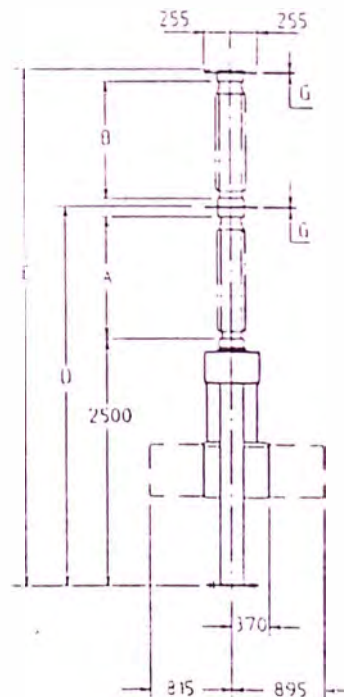
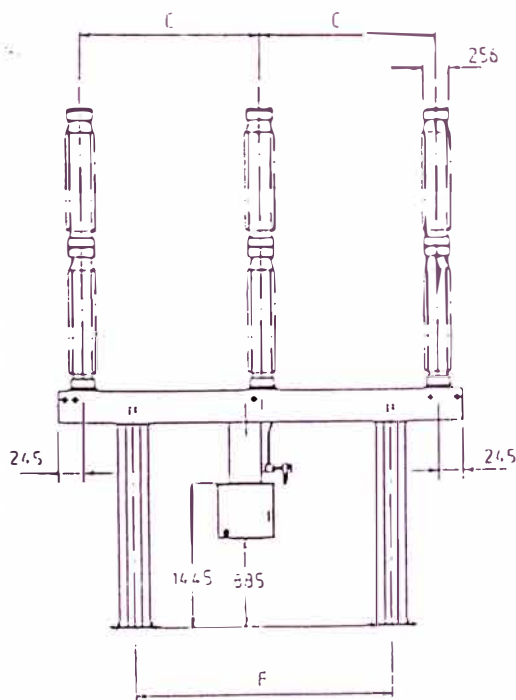


ABB Subestaciones, S.A.

FABRICA:
Escritor Conde Zamora, s/n — 14004-CORDOBA
Teléfono: (957) 41 20 11—Fax: (957) 41 32 53

CASA CENTRAL:
Ramírez de Arellano, 17 — 28043-MADRID
Teléfono: (91) 581 93 93—Fax: (91) 581 93 41—Telex 27572

DELEGACIONES

Delegación Barcelona
Rambla de Catalunya, 31—08007 BARCELONA
Tel: (93) 4876033 — Fax: (93) 4975538 — Telex: 54780

Delegación Sevilla
Castellar, 23 — 41001 SEVILLA
Tel: (95) 4217199 — Fax: (95) 4218053

Delegación Madrid
Paseo de la Castellana, 137 — 28046 MADRID
Tel: (91) 444 30 20 — Fax: (91) 444 30 25 — Telex: 21052

Delegación Murcia
Avenida de España, 21 — 30001 MURCIA
Tel: (96) 444 30 20 — Fax: (96) 444 30 25 — Telex: 21052

Delegación La Coruña
Avenida de España, 17 — 15004 LA CORUÑA
Tel: (981) 21 00 11 — Fax: (981) 21 00 11

tipo
type

SGC

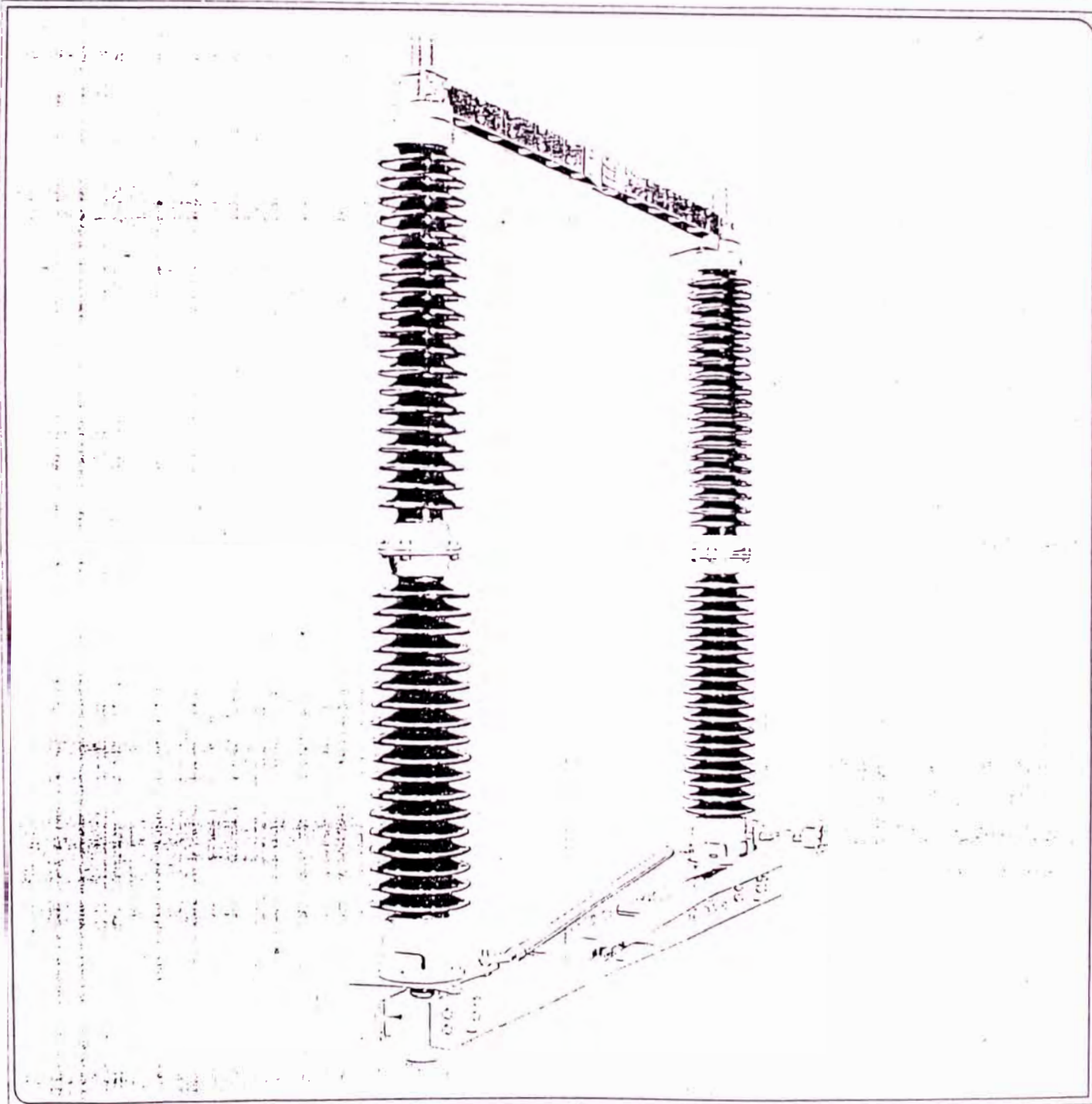
**SECCIONADORES
GIRATORIOS DE
APERTURA CENTRAL**

BORNES CILINDRICOS

**CENTRAL BREAK ROTATING
TYPE ISOLATORS**

CYLINDRICAL TERMINALS

CEI-129 / IEC-129



MESA

MANUFACTURAS ELECTRICAS, S.A.

GRUPE SCHNEIDER

Apartado 8
48100 MUNGUA - (VIZCAYA) - ESPANA

Teléfono (94) 615 91 00
Telex 34 672 MEMG E
Telefax (94) 615 91 10

FOLLETO
PAMPHLET

5565
hoja/sheet - 1
12-1994

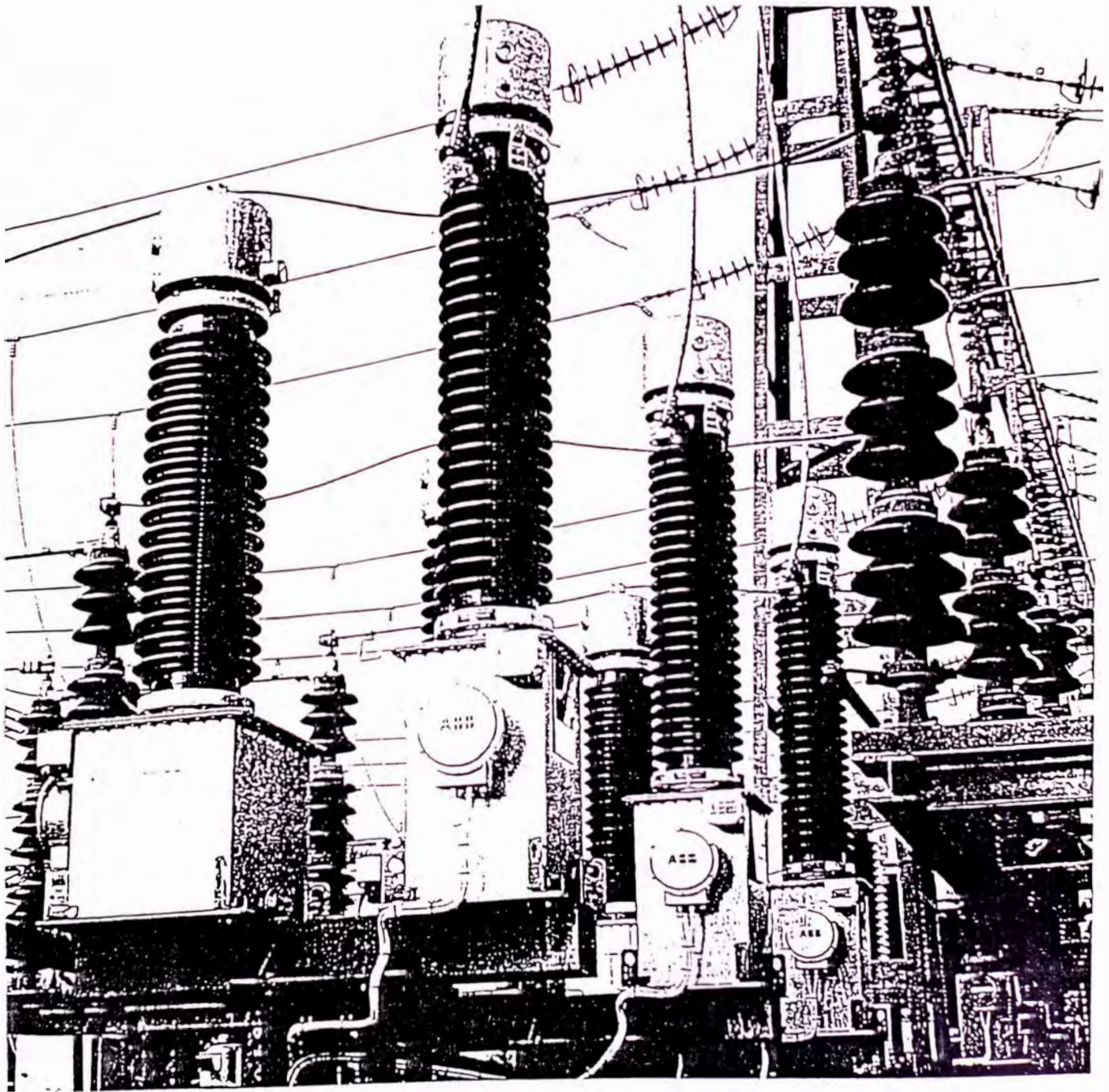
Current Transformers type IMB

Outdoor Current Transformer
type IMBD and IMBE

System Voltages 36 – 300 kV
Rated Currents 50 – 4000 A

Design characteristics:

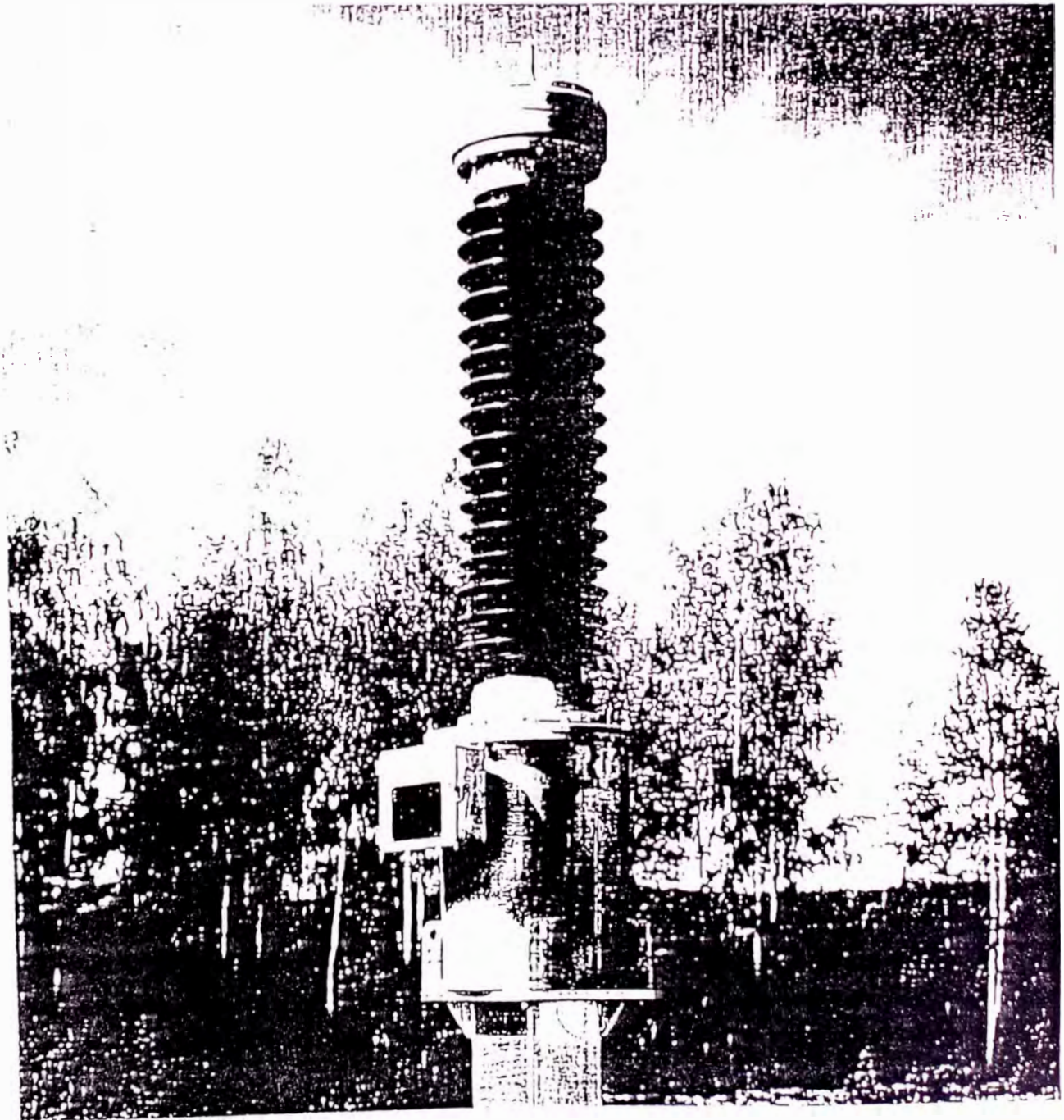
- Oil minimum type
- For all climatic and atmospheric conditions
- For metering and protection



Capacitor Voltage Transformers type CPA

Capacitor voltage transformers
type CPA and
coupling capacitors type CCA
for system voltages 72.5 – 550 kV

- Conform to IEC and most national standards
- For all climatic and atmospheric conditions
- For metering and protection
- For synchronization
- For carrier transmission



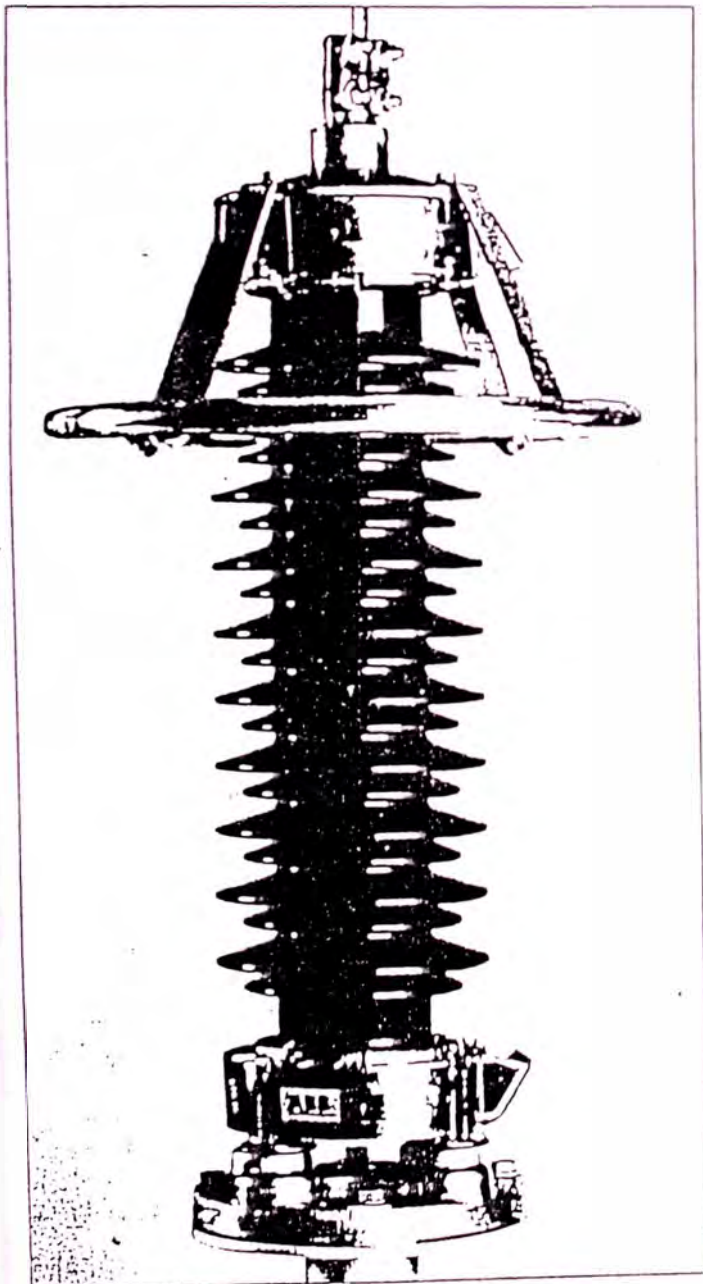


Zinc oxide surge arrester EXLIM Q

Class 10 kA, as per IEC
Station class, as per ANSI
Porcelain insulator

Design/test standards:
IEC 99-4; ANSI/IEEE C62.11

Catalogue Publ. SESWG/A 2220E
Edition 6, 1996-09



APPLICATIONS

Protection of transformers, switchgear and equipment in medium voltage and high voltage systems against atmospheric and switching overvoltages.

- areas with high lightning intensity
- important installations
- where grounding or shielding conditions are incomplete

BRIEF PERFORMANCE DATA

System voltages (U_m)	36 – 362 kV
Rated voltages (U_n)	30 – 336 kV
Nominal discharge current (IEC)	10 kA _{crest}
Classifying current (ANSI)	10 kA _{crest}
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 μ s	100 kA _{crest}
Low current 2400 μ s	700 kA _{crest}
Low current 2000 μ s	900 A _{crest}
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 3
[2 impulses, IEC Cl. 7.5.5]	7.8 kJ/kV(U_n)
Rated test energy	5.6 kJ/kV(U_n)
Single impulse energy:	4.5 kJ/kV(U_n)
Fulfills/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 362 kV systems.	
Pressure relief capability	65 kA

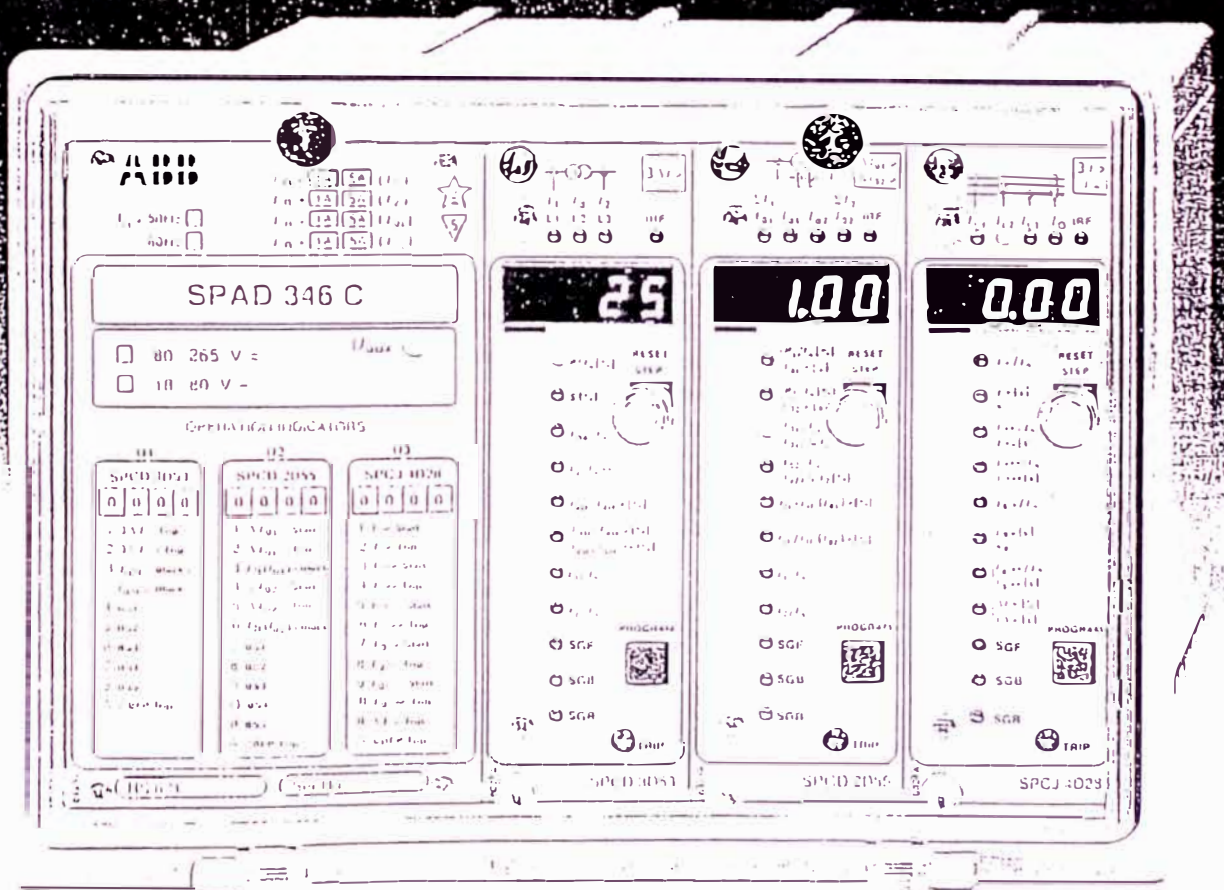
SERVICE CONDITIONS

Ambient temperature	-40°C to +45°C
Maximum altitude	1 000 m
Frequency	15 Hz to 62 Hz
Erection	Vertical upright

Arresters for other service conditions can be quoted on request

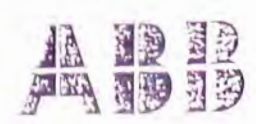
SPAD 346 C

*Stabilized
Differential Relay*



Performance

ABB Network Partner



Stabilized Differential Relay

Type SPAD 346 C

Features

- Integrated three-phase differential relay, three-phase overcurrent relay and multi-configurable earth-fault relay
- Stabilized differential relay module providing winding short-circuit and interturn fault protection for two-winding power-transformers and generator-transformer units, and interwinding short-circuit protection for generators.
- Earth-fault relay module providing protection for the transformer HV and LV side according to the selected principle: stabilized differential current principle, high-impedance principle, residual current principle or neutral current principle
- Three-stage overcurrent module providing protection for power transformers and generators and two-stage back-up earth-fault protection
- Short operate time even at partial saturation of the current transformers
- Operation characteristic of differential relay module easily adapted for different applications
- Stabilized against unwanted operations at faults occurring outside the protected area and at transformer inrush
- Second harmonic restraint for prevention of unwanted relay operations at transformer inrush
- Fifth harmonic restraint for prevention of unwanted relay operations at transformer overexcitation - The fifth harmonic restraint can be aborted if the basic frequency component rises too high at dangerous overvoltages
- Wide CT ratio correction range - accurate correction through digital setting
- No interposing current transformers needed for the protection of two-winding power transformers - numerical vector group matching on HV and LV side
- Four heavy-duty output relays for circuit breaker tripping and five output relays for signalling
- Five programmable external control inputs intended for alarm and trip signals from gas relays, oil temperature sensors and other sensors of transformer auxiliary devices
- Integrated circuit breaker failure protection with adjustable operate time
- Differential relay and earth-fault relay modules provided with integrated disturbance recorder functions for analog and digital signals - signals to be used for triggering selectable
- Sensitive phase current and phase angle displays facilitate checking of energizing circuit connections and vector group matchings
- High immunity to electrical and electromagnetic interference allows the relay to be used in severe environments
- High availability and system reliability due to continuous supervision of hardware and software
- Powerful software supports relay parametrization and reading of measured, recorded and event data
- The relay is a member of the SPACOM product family, which is part of ABB's Distribution Automation system and ABB's Panorama concept.

Application

The stabilized differential relay SPAD 346 C is designed for protecting two-winding power transformers and generator-transformer units against winding short-circuit, inter-turn fault, earth fault and short circuit, and generators against interwinding short-circuit and pole short circuit. In addition, the relay can be used for the protection of three-winding power transformers, provided 75% of the short circuit power to the power transformer is supplied from the same direction, and for the protection of compensating chokes and short cable lines.

No interposing transformers are needed for the protection of two-winding power transformers, as the relay allows the vector group matching, the elimination of the zero-sequence component of the phase currents and the CT ratio corrections to be carried out numerically.

Earth faults outside the protected area can cause differential currents if the star point of the power transformer to be protected is earthed on the HV side or the LV side. Normally, unwanted relay operations can be avoided by eliminating the zero-sequence components of the phase currents in the vector group matching. Should the LV side of a Y/D-connected transformer with earthed star point be earthed via a zig-zag connected earthing transformer, the zero-sequence components can be numerically eliminated in the relay.

At single-phase or two-phase earth faults within the protected area the sensitivity of the normal, phase current measuring differential protection will not be sufficient, in particular, if the star point of the transformer is earthed via a resistor. The earth-fault relay module provides coverage for these situations as well.

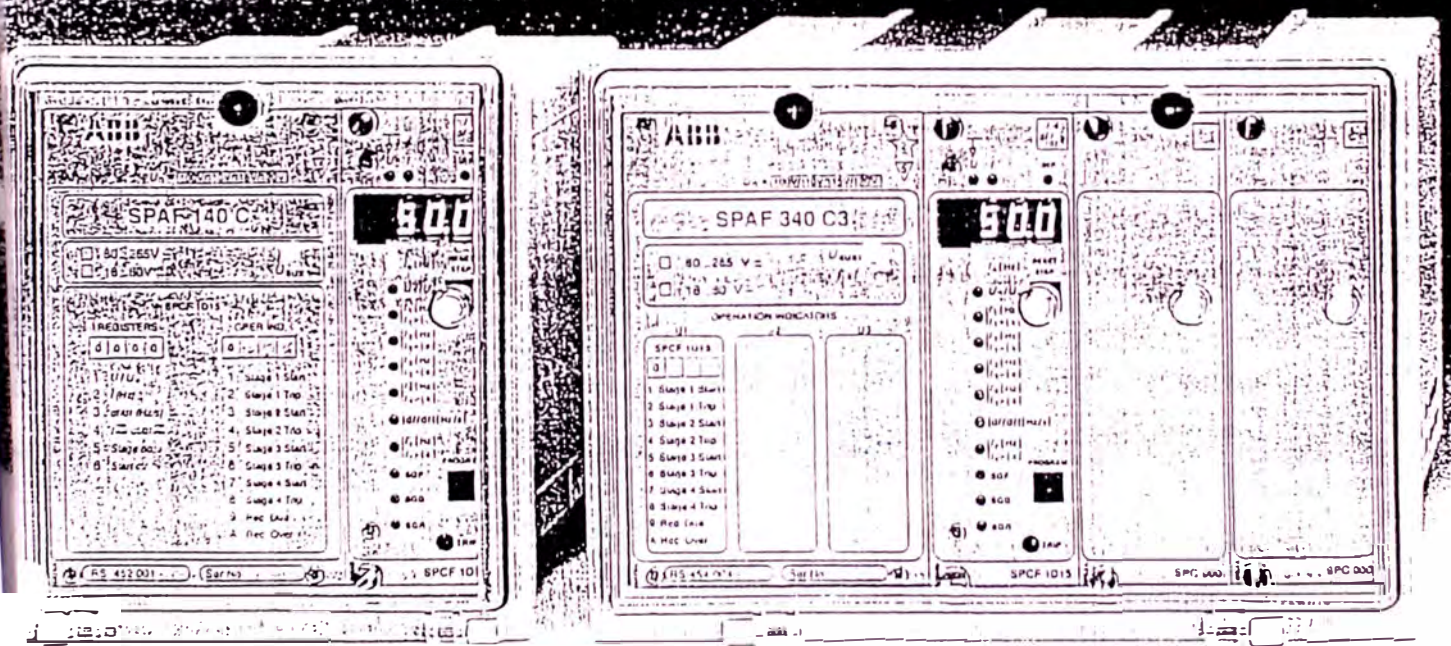
The combined overcurrent and earth-fault relay module provides phase overcurrent protection and back-up earth-fault protection for the protected object.

The current transformer connections and the vector group matching are easily checked by means of a low-voltage test and the sensitive phase current and phase angle displays of the relay. The test includes the current transformers on both the HV side and the LV side of the power transformer.

The disturbance recording functions integrated into the differential relay module and the earth-fault relay module can be started, for example, by an external control signal or the operate signals of the module. The disturbance record provides vital information about current magnitudes, curve forms and digital relay module signals, for instance, after a fault situation.

The differential relay is provided with push-buttons and displays for local man-machine communication and a serial interface for remote communication with higher-level systems. The relay is a member of the SPACOM substation equipment system, which is part of ABB's Distribution Automation system and ABB's Panorama concept.

SPAF 140 C SPAF 340 C3 Frequency Relays



Panorama

ABB Network Partner



Frequency Relays

Type SPAF 140 and SPAF 340

Features

- Overfrequency and underfrequency relay with four frequency stages
- Operation based on either the positive or the negative rate of change of frequency (df/dt). Can be used independently or in combination with a set frequency value.
- Each frequency stage can be given two separate time delays; outputs for connection to various output relays.
- Selectable undervoltage blocking level
- Selectable rated frequency of the relay
- The protection stages can be blocked separately via external blocking inputs
- SPAF 140 includes four binary blocking inputs plus three relay outputs, two of which heavy-duty type, to be configured by the customer
- SPAF 340 includes five binary blocking inputs and eight output relays for customer needs. Four output relays can be used for circuit breaker control.
- Flexible configuration of blocking inputs, protection stages and output relays through programmable switch matrices
- Recovery function with adjustable time delay for the start of network restoration
- Serial communication enabling connection to remote control systems, parametrization via a PC, and reading of registers and measured values
- High system reliability due to continuous self-supervision
- High immunity to electrical and electromagnetic interference; robust aluminium case for IP 54 installation.

Application

The frequency relay SPAF 140 is designed to be used for protecting generators and other AC equipment against overfrequency and underfrequency. The operation of the relay can be based on set frequency values, on the rate of change of frequency, or on a combination of these two. In generator protection applications the relay protects the generator and the prime mover against hazardous overspeeding and/or underspeeding. The relay can also be used for the protection of large synchronous motors in networks where automatic network restoration is used. The relay isolates the motor from the network in the event of an outage, averting dangerous unsynchronized connection.

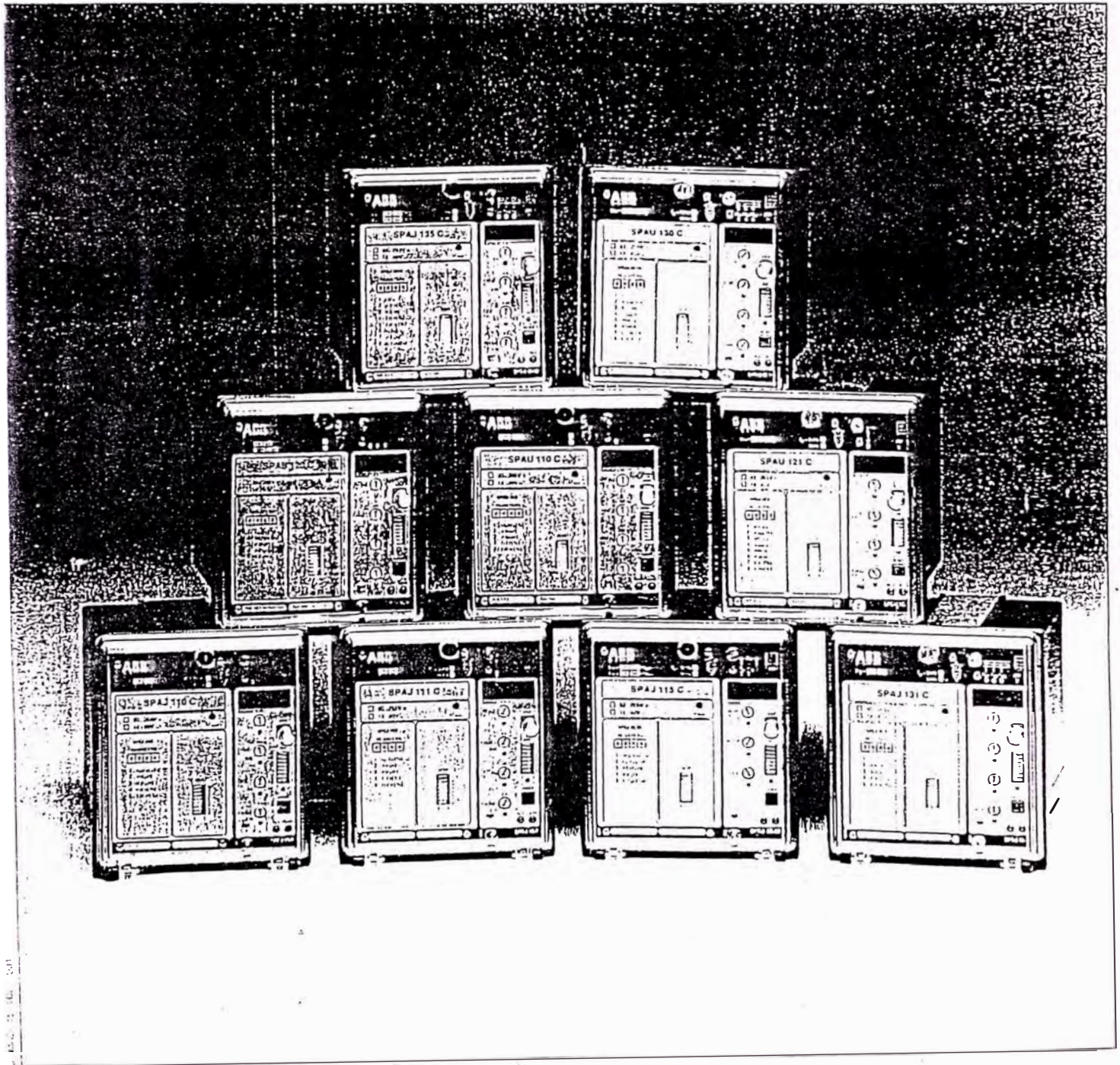
The frequency relay SPAF 340 is specially adapted for load shedding in situations where power consumption exceeds power capacity in the network. In such a situation of unbalance, the network frequency starts declining. The SPAF 340 relay can control four circuit breakers, allowing four feeders to be disconnected from the network, one by one. Should the power deficiency still persist, the relay disconnects the plant for island operation. The operation of the relay can be based on set frequency values ($f <$), on the rate of decrease of frequency (negative df/dt), or on both criteria ($f <$ and df/dt). In addition, output of each stage can be obtained via two separate time circuits and so eight different frequency/time combinations are available. Should the network frequency drop rapidly, this feature allows fast disconnection of different loads.

The frequency relays type SPAF 140 and SPAF 340 are members of the SPACOM product family and part of the PYRAMID™ concept.

Protection relays

Voltage and current
measuring relays
with one C type relay module

Series SPA 100



1.5. 11. 86. 101

ABB Network Control & Protection



Features

- Wide range of general-use single-input or two-input energizing quantity protection relays
- Non-directional phase overcurrent relays for short-circuit and overcurrent protection
- Directional and non-directional neutral overcurrent relays for earth-fault protection
- Overvoltage and undervoltage relays for system voltage supervision
- Residual overvoltage relays for earth-fault supervision
- Two or three operation stages in each protection relay module
- 1 A and 5 A tapings on current relays and 100 V and 110 V tapings on voltage relays
- Freely configurable output relays for tripping and signalling
- Direct numerical readout of set values, actual measured values, recorded values, indications etc.
- Rugged aluminium case with IP54 degree of protection by enclosure for flush mounted and semi-flush mounted relays
- Serial interface for connecting the relay to higher-level data acquisition systems, local or remote control systems or other host systems
- High immunity to electrical and electromagnetic interference
- Improved system reliability backed up by a sophisticated built-in self-supervision system with auto-diagnosis.

Applications

The protection relays of the SPA 100 Series are designed to be used as general protection relays in power distribution systems. The series includes single-phase, two-phase and three-phase overcurrent relays, directional and non-directional earth-fault relays, residual overvoltage relays, single-phase and three-phase combined overvoltage and undervoltage relays. The SPA 100 Series relays are used in various distribution system applications both as main protection relays and as back-up protection relays for the main protection relays of an object.

The SPA 100 Series relays are used as substation feeder and busbar short-circuit, time overcurrent and earth-fault protection relays and busbar voltage supervision relays. The SPA 100 Series relays are also used for the protection of large, three-phase, low-voltage motors and high-voltage motors, generally in combination with motor protection relays of the SPAM Series.

The relays can also, in conjunction with SPAG generator protection units, be used for the protection of small and medium sized power generators. The SPA 100 Series relays are further, in association with the biased differential relay SPAD 330 C, used for short-circuit, time overcurrent and earth-fault protection relays for large distribution transformers and power transformers. Together with the capacitor protection relay SPAJ 160 C, the single-input and two-input energizing quantity relays are used for the protection of capacitor banks.

The protection relays of the SPA 100 Series are provided with communication capabilities via push buttons and a digital display on the relay front panel and via a serial communication port on the relay rear panel. The relays are members of the SPACOM substation secondary equipment family, which is part of PYRAMID[®], ABB's coordinated protection and control system.

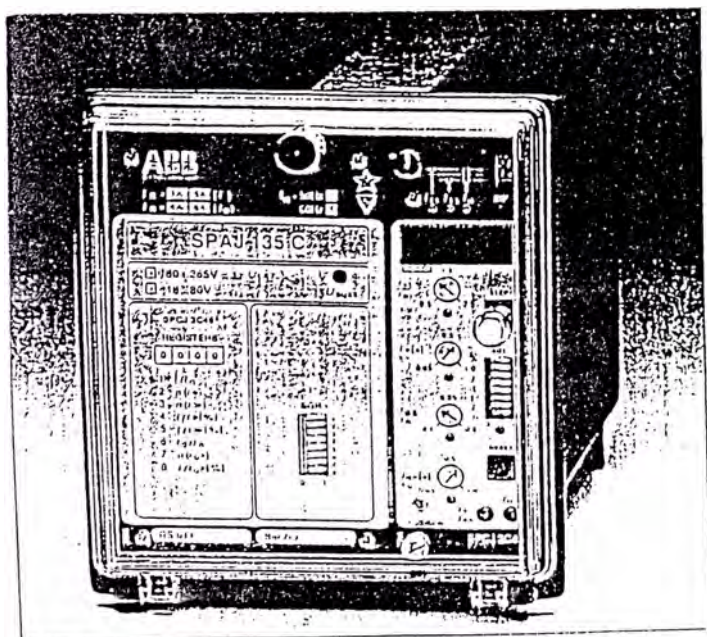


Fig. 1. Front view of combined overcurrent and earth-fault relay SPAJ 135 C

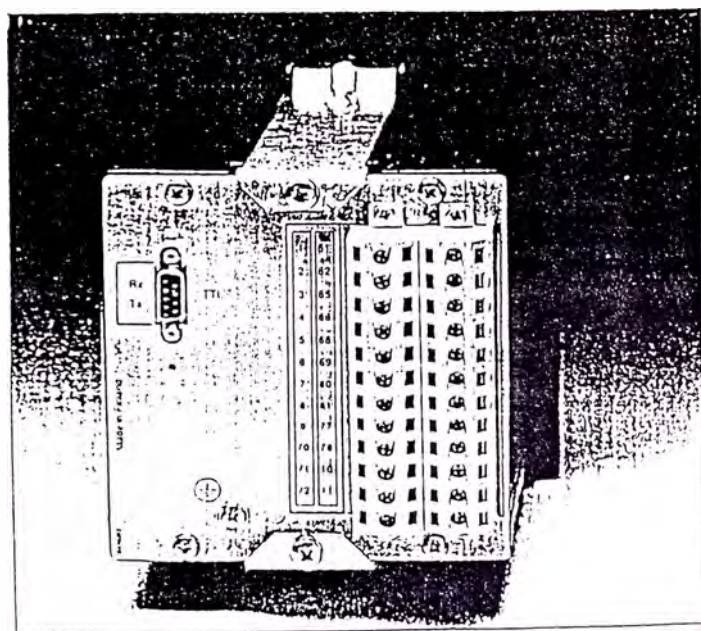


Fig. 2. Rear view of combined overcurrent and earth-fault relay SPAJ 135 C

Protection relay modules

The different relays of the SPA 100 Series include one C type measuring relay module each. The type designations and protection functions of the relays and relay modules are shown in Table 1 below.

The type designations and protection functions of the relays and relay modules are shown in Table 1 below.

Type designation	Protection relay module								
	SPCJ 3C3	SPCJ 3C48	SPCJ 1C7	SPCJ 1C8	SPCJ 2C30	SPCS 3C4	SPCU 1C1	SPCU 1C6	SPCU 3C14
SPAJ 110 C SPAJ 111 C SPAJ 115 C SPAJ 131 C SPAJ 135 C SPAS 120 C SPAU 110 C SPAU 121 C SPAU 130 C	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Protection functions	3I> 3I>>	2I> 2I>> I ₀ >	I ₀ > I ₀ >>	I ₀ > I ₀ >>	I ₀ > I ₀ >	I ₀ > —> I ₀ >> —>	U> U<	U ₀ > U ₀ >>	3U> 3U<
Device numbers according to IEC 617 and ANSI/IEEE C37.2-1991	51 50	51 50 51N	51N (S) 50N	51N 50N	87N 51N	67N 67N	59 27	59N 59N	59 27

Table 1. Relay type designations and associated relay module types of SPA 100 Series relays

Data communication

The current and voltage relays of the SPA 100 Series are provided with a serial interface on the rear panel. By means of bus connection modules type SPA-ZC 17 or SPA-ZC 21 the relays are connected to the fibre optic SPA bus, the data communication bus of the SPACOM system. The bus connection module type

SPA-ZC 21 is powered from the host relay, whereas the bus connection module type SPA-ZC 17 is provided with a built-in power unit which can be fed from an external secured power source. Via the serial bus the relays communicate with higher level data acquisition or control systems.

Self-supervision

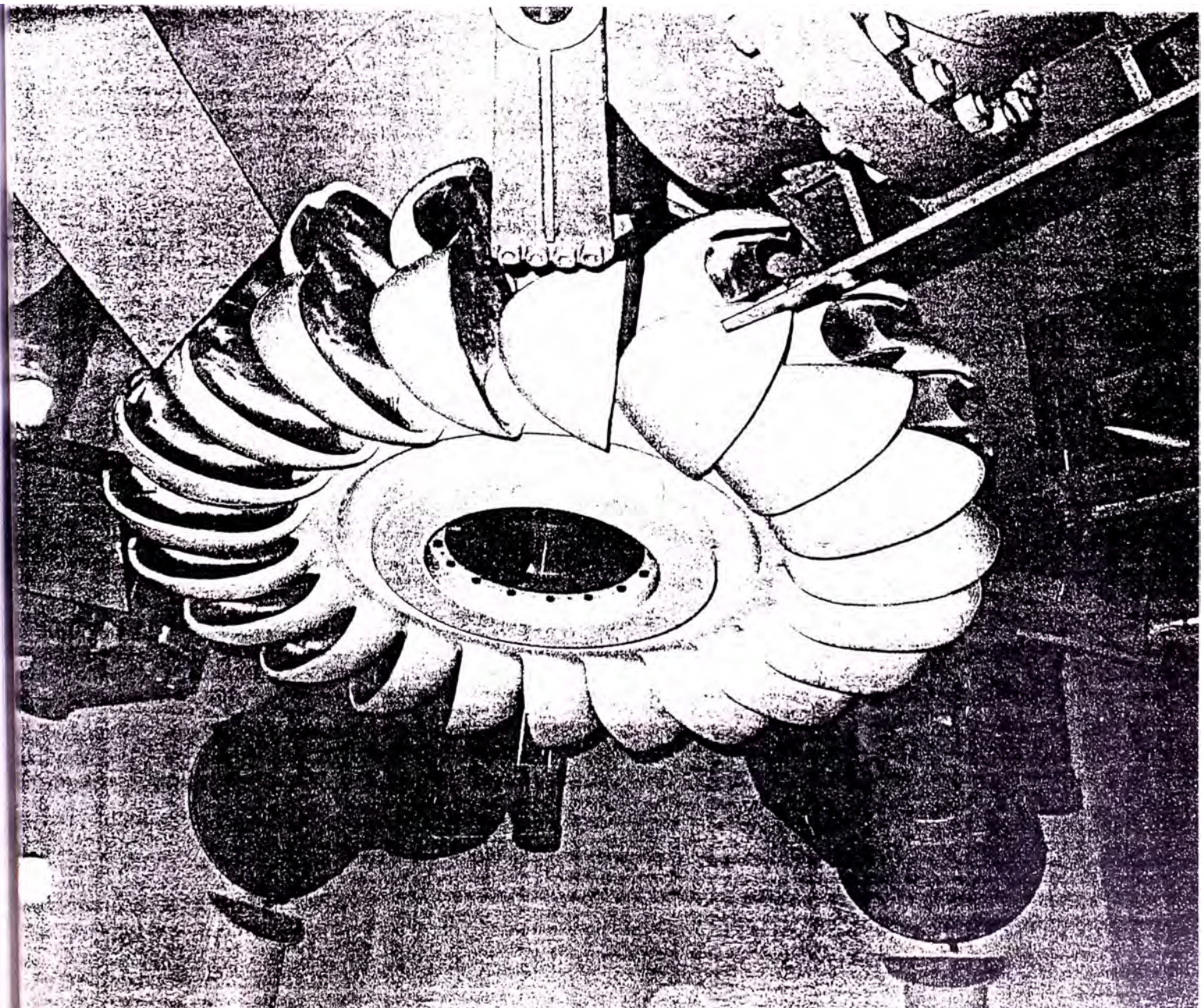
The relays of the SPACOM family are provided with a sophisticated built-in self-supervision system with auto-diagnosis. The self-supervision system continuously monitors the hardware and the software of the relay and the execution of the microprocessor programs. The system also supervises the operation of the auxiliary supply module and the level of the secondary voltage generated by the supply module.

If a permanent fault is detected an alarm indication is obtained via the red IRF indicator on the front panel and via the output relay of the self-supervision system. The alarm message is also transmitted over the serial bus to higher system levels such as the local or remote control system. Further, in most fault situations an auto-diagnostic fault code is obtained. Thus immediate notice is obtained when a vital protection and control unit is disabled.

Auxiliary power supply

The auxiliary supply of the relays is obtained from an internal plug-in type power supply module. Two auxiliary power module versions are available, type SPTU 240S1 for the supply voltage range 80...265 V ac or dc

and type SPTU 48S1 for the supply voltage range 18...80 V dc. The power supply module forms the internal voltages required by the protection relay module and the I/O module.

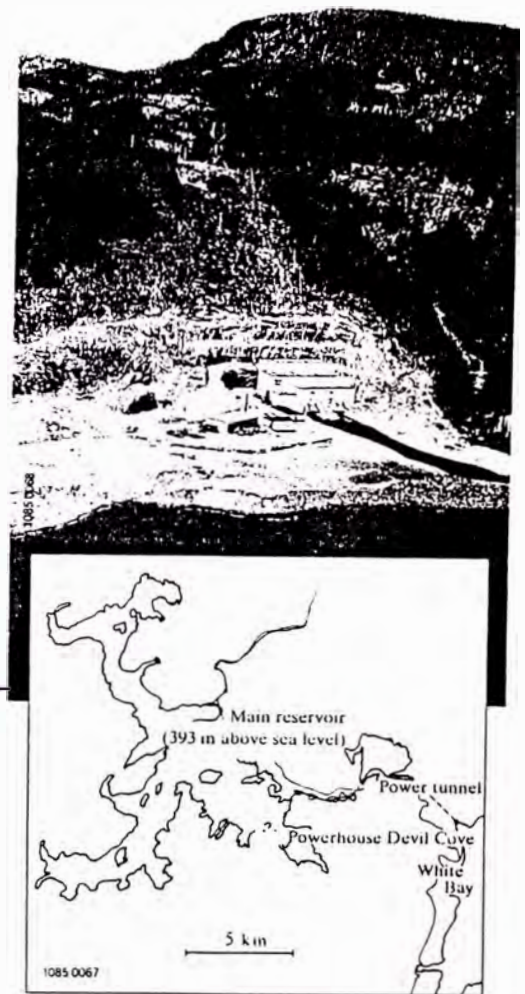
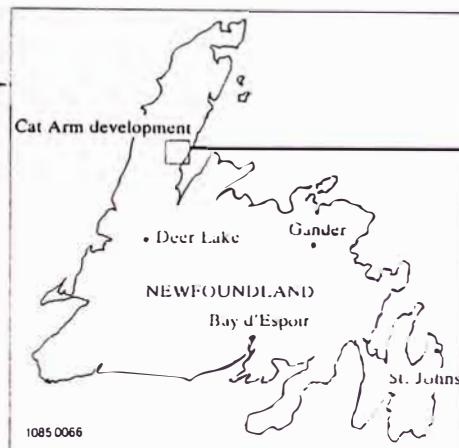


Cat Arm – New Large Pelton Turbines in North America

J. Meier, Sulzer–Escher Wyss Ltd., Zurich, Switzerland
 B. Jacquet, Dominion Bridge–Sulzer Inc., Montreal, Canada

2014

1 Cat Arm powerhouse at Devil Cove.



Cat Arm power station in northern Newfoundland has been in successful operation since May 1985. At a gross head of 386.5 m, the development has the highest head of any plant east of the Rocky Mountains. The two large Pelton turbines with electro-hydraulic governors and spherical shut-off valves have been designed and manufactured by Sulzer–Escher Wyss Ltd., Zurich, Switzerland and Dominion Bridge–Sulzer Inc., Lachine, Quebec, Canada, for Newfoundland and Labrador Hydro, St. John's, Newfoundland, Canada. Cat Arm Consultants, St. John's, were responsible for consultant engineering.

2 The Cat Arm installation is located on a plateau of the Long Range Mountains, Great Northern Peninsula, Newfoundland, Canada. It has a capacity of 127 MW, which is fed into Newfoundland's island electricity supply grid. The annual production of 700 GWh of electrical energy replaces 1.1 million barrels of oil per year.

Location, operating conditions

The Cat Arm development is situated in the south eastern quarter of the Great Northern Peninsula of Newfoundland, on the raised uplands of the Long Range Mountains and is approximately 20 km north of Jackson's Arm in White Bay (Figs. 1 and 2). The Cat Arm River flows have been increased through a series of perimeter dams and are impounded by a main dam and spillway structure in the river. Flows are diverted through canals and tun-

nels to the powerhouse at Devil Cove (Fig. 1) and discharged into an inlet of White Bay through a tailrace.

The powerhouse is located in a rugged and particularly adverse area where, during wintertime, access to the powerhouse can be very difficult and the temperature can drop as low as -40°C . In addition, the proximity of the sea necessitates a particular attention in the design of the tailrace to prevent the ingress of waves.

The turbine/generator units are remotely controlled by Newfoundland and Labrador Hydro's master control

center at Bay d'Espoir, more than 200 km away, via a microwave link, or from the control room at Cat Arm. The units are interconnected with the existing power grid to operate in parallel with each other and with other generating units on the system. It is possible for the power grid to split such that the plant may be left in isolation from other generating stations, but left carrying a partial load. The plant is being operated as a base load station. However, it is expected to be used for peaking in later modes of operation. The units are also exploited as synchronous condensers.

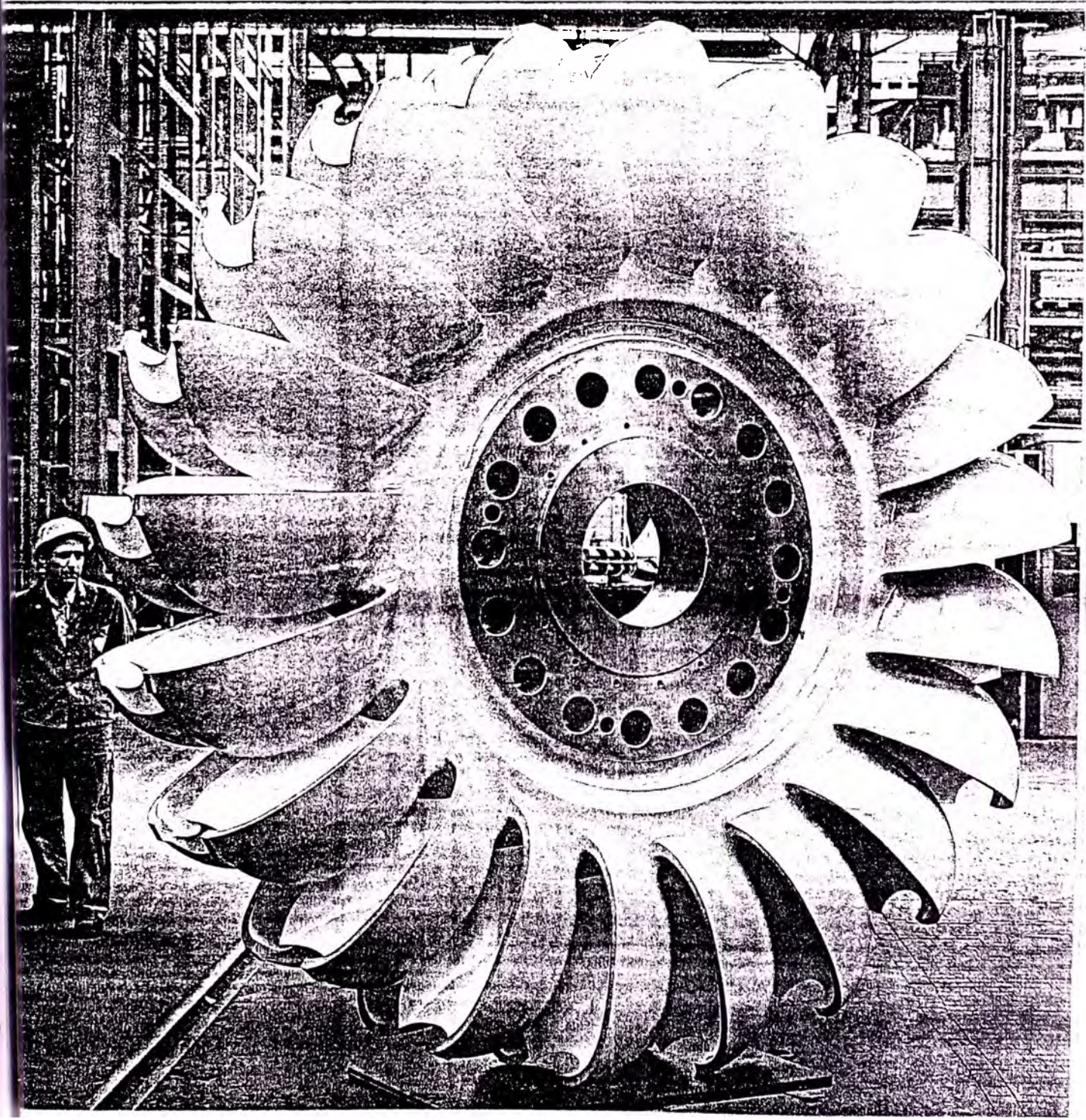
In spite of these severe and complicated operating conditions, the powerhouse is operated unmanned.

hydraulic Design

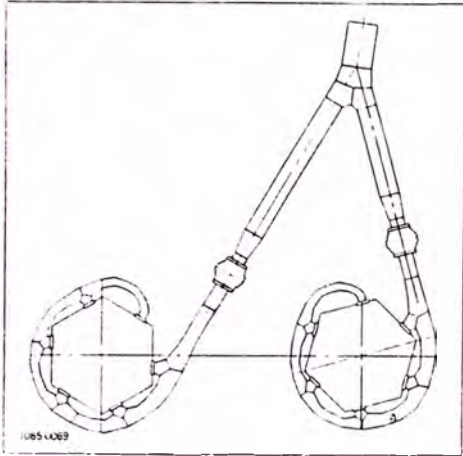
The hydrological data of the Cat Arm development would also allow Francis turbines to be used. However, Pelton turbines (Fig.3) can have important and clear advantages compared with Francis installations. For the Cat Arm development, they were, in particular:

- *Cost savings:* Francis turbines would have required difficult cofferdamming and additional powerhouse excavation of 40000 m³, mostly in rock. Moreover, a costly surge chamber is necessary for Francis turbines in order to achieve a similar degree of speed regulation.
- *Operation:* Vertical multi-jet tur-

bines can be operated down to approximately 5% capacity with no problems and allow good peaking operation with fast starts and stops without a surge chamber. Exposure to sea water corrosion requires for Francis turbines complicated operating procedures with automatic closing of draft tube gates.

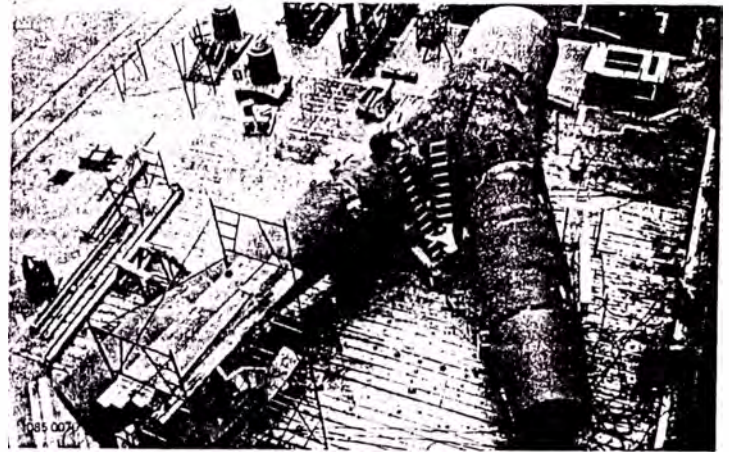


1st Arm Pelton runner in the Zurich works.



4 Powerhouse – arrangement of machines.

5 Penstock bifurcation. Shop assembly at Dominion Bridge-Sulzer, Lachine, Canada.



– *Maintenance:* All Pelton turbine parts, especially the runner and nozzles, are readily and easily accessible and the few parts subject to wear are quickly replaced.

The design data of the two Cat Arm Pelton turbines are as follows:

Maximum head	388.4 m
Power output per turbine	69800 kW
Speed	327.3 rev/min

The turbine arrangement in the powerhouse was carefully chosen to minimize losses in the power feeding pipes and to keep costs low (Fig. 4). This was achieved by using a patented ESCHER WYSS type bifurcation (Fig. 5), with a single internal reinforcement (which is particularly efficient as far as hydraulics and stress performance are concerned) and straight pipes to the shut-off valves and turbines. The turbines are of the vertical, six-jet design, with cut-in type deflectors and nozzles provided with internal needle control servomotors (Figs. 3 and 6).

This highly-developed SULZER-ESCHER WYSS concept allows a high specific speed to be reached with safe and smooth running of compact and efficient machines. This requires a careful design of the complete hydraulic shape from the distributor inlet to the tailwater channel, based not only on extensive model testing, but also on wide prototype experience. The runner shape and the complete housing are of vital importance for a controlled water discharge to reach high efficiencies and safe operation at high specific speed.

The turbine aeration system and tailwater channel geometry were carefully

established to optimize the setting of the machines, taking into account the tide levels and wave effects in the tailrace. A catchment system for unpressurized cooling freshwater at the pit walls has been developed.

The high reliability and efficiency in all the complicated modes of Cat Arm operation confirm the results of the extensive model testing for these features.

Mechanical design

Spherical shut-off valves (Fig. 7)

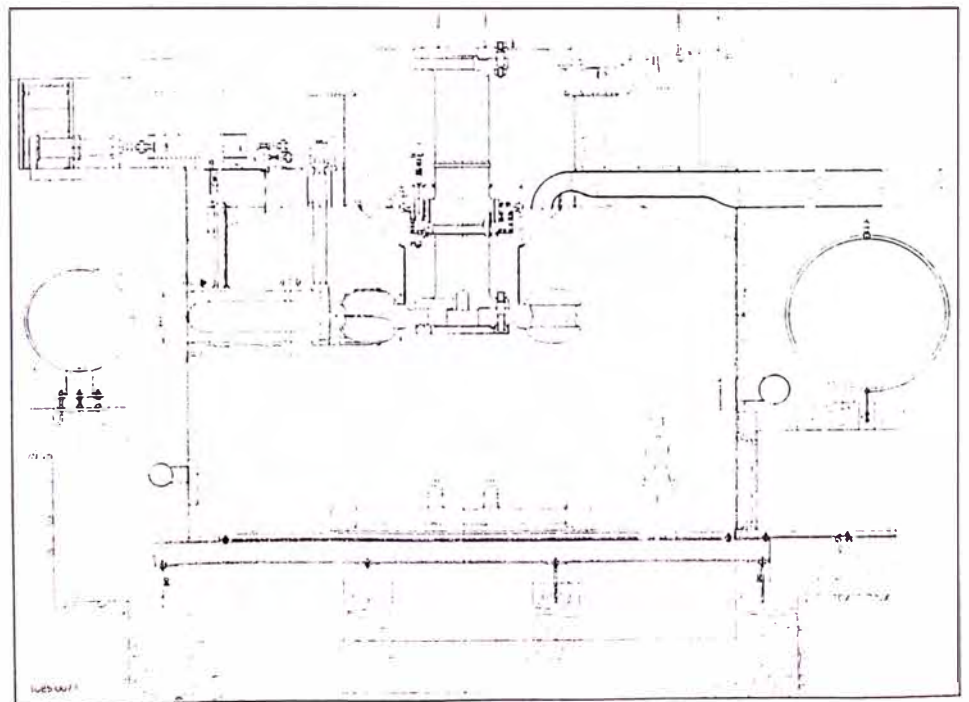
Two spherical valves installed directly upstream of the turbines are capable of

providing an emergency shut-down against full water discharge.

Data:	
Nominal diameter	1500 mm
Nominal flow	20.3 m ³ /s
Design pressure	4.8 MPa
Test pressure	7.8 MPa

The valves are fitted with patented ESCHER WYSS stainless steel sealing rings for main and maintenance seals. The casing is a cast design, with parting flanges parallel to the longitudinal axis. The rotational plug is welded and has trunnions supported in self-lubricated special bearings.

The drive of the valve is by a double-effect servomotor, actuated by pressurized penstock water.



6 Longitudinal section through Cat Arm Pelton turbine.

Pelton turbines (Figs. 3 and 6)

The turbine and generator rotating parts are connected by a short shaft of only 3000 mm. This very compact arrangement allows a comfortable margin for critical speed versus runaway speed. Nevertheless, the turbine head-over with the shaft bearing, the deflector mechanism, as well as the needle supply and feedback system are well accessible.

The 11.4 t runner (Fig. 3) is cast in one piece from CrNi 13.4 steel. The shape was carefully chosen and machined with a rigorous quality control to reach high availability with extended inspection periods. It is friction coupled to the shaft flange via high grade pre-tensioned bolts.

The Babbit-metal lined turbine guide bearing is of high rigidity, with self-acting oil circulation and water cooling coils.

The nozzles (Fig. 8) are made as composite structures out of cast steel and welded plates. The spring force

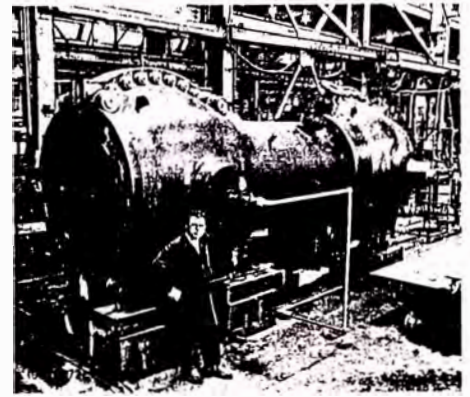
compensated needles are individually controlled by internal servomotors.

The deflectors are mechanically linked and driven by a double-stage servomotor, actuated in the closing direction by penstock pressure and in the opening direction by the governor oil system.

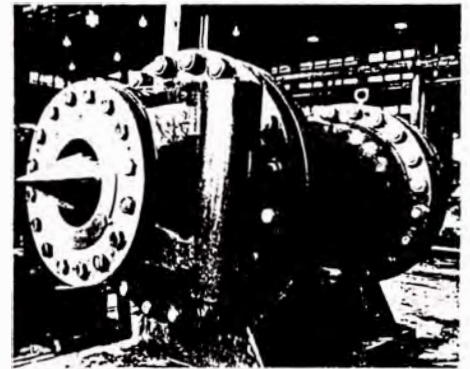
The turbine pit is steel lined and is equipped with a runner removal platform, including a removable inspection grating and a hydraulically operated carriage car.

The completely embedded distributor (Figs. 9 and 10) consists of patented ESCHER WYSS bifurcations with internal reinforcements. This results in less headloss in the water supply and savings in required space. Fabricated in three pieces and shop assembled (Fig. 9), the distributor was finish-welded and pressure tested at site (Fig. 10).

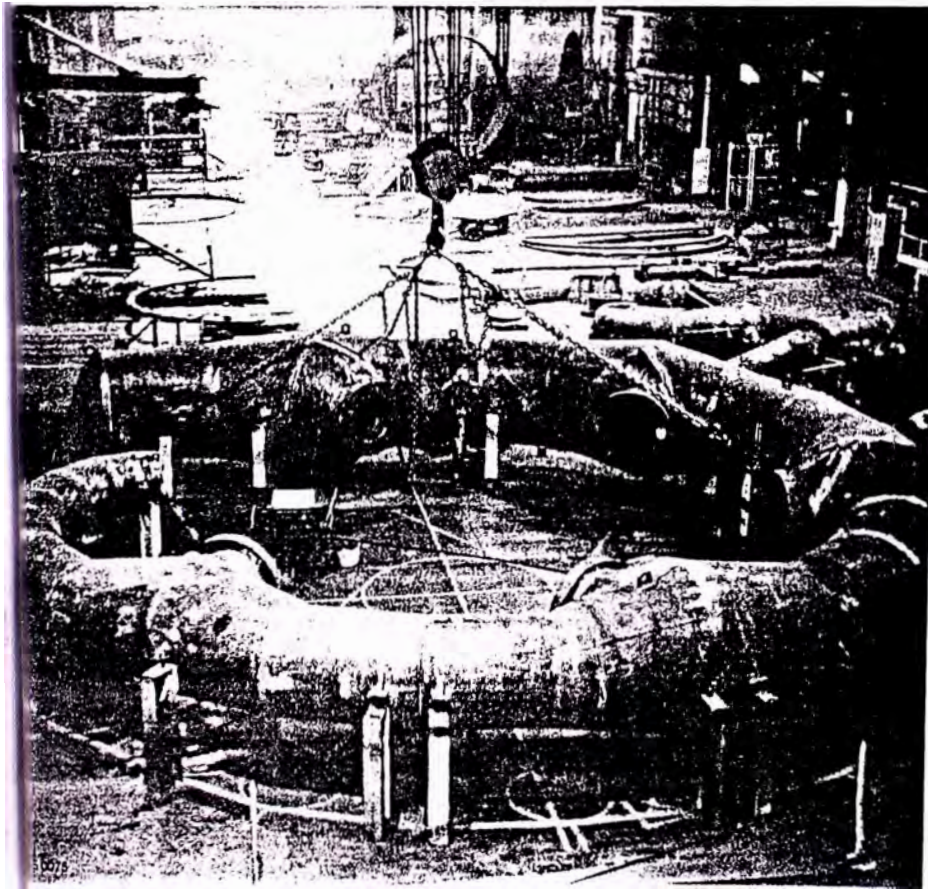
An automatically controlled heating system is provided to protect the machines against freeze up during winter shut downs.



7 Spherical safety shut-off valves during the pressure testing in the Dominion Bridge-Sulzer works.



8 Injector with internal needle servomotor.



Manufacture of the distributor in the Dominion Bridge-Sulzer works.

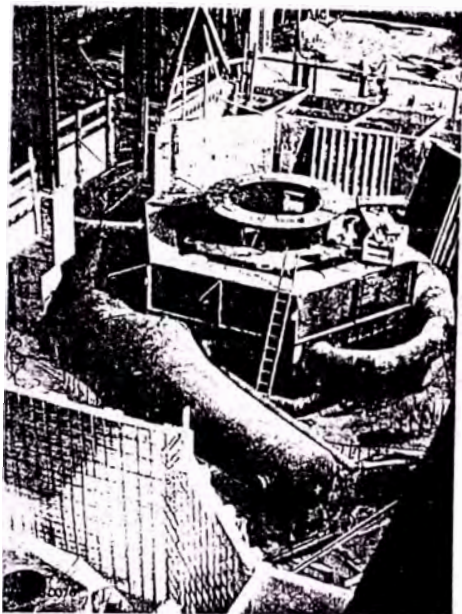
Governors (Figs. 11 to 14)

The ESCHER WYSS control system consists of the pressure oil supply and the electronic governing system. It features frequency control and power output control modes.

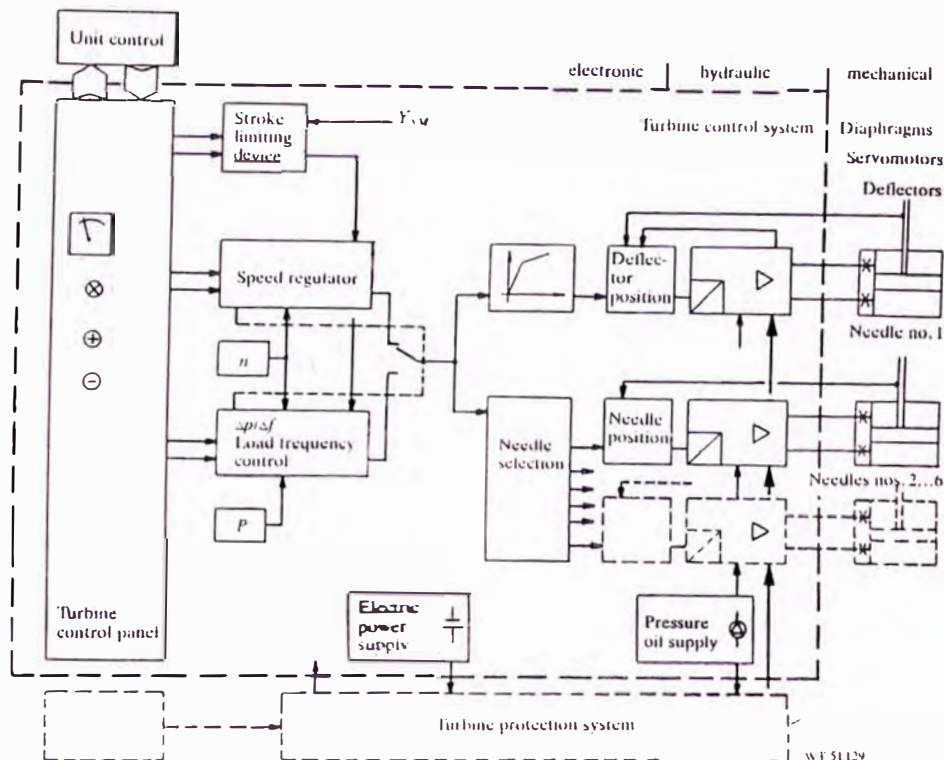
The number of nozzles in operation is automatically selected according to the turbine output. This ensures best possible efficiency with smooth running, brought about by the six-jet design with theoretically balanced radial thrust at six-, four-, three- and two-jet operation.

Operating experience

The power plant was put into operation without any major problems. Since then, the machines have been exploited continuously, with a load factor of nearly 100%. The transient oper-



10 Site erection of the turbines.



11 Cat Arm electro-hydraulic governing system.

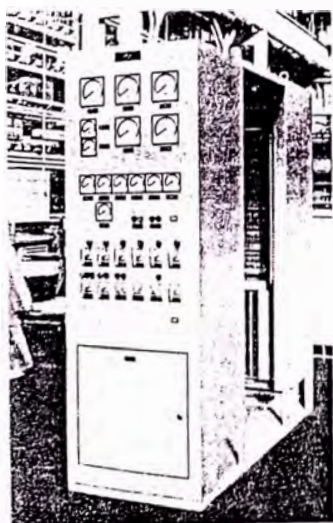
ations, especially the start-up and shut down, as well as the running of the machines, are very smooth.

The scheduled regular inspections have been carried out and proved excellent hydraulic and mechanical behaviour.

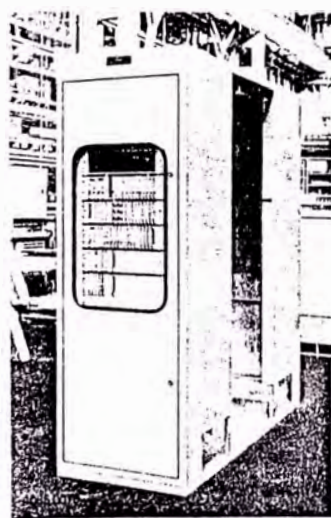
The good condition of the machines indicates also an expert exploitation (e.g. avoidance of unnecessary use of the brake jet) by Newfoundland and Labrador hydro.

This satisfying result was achieved by constructive collaboration of the

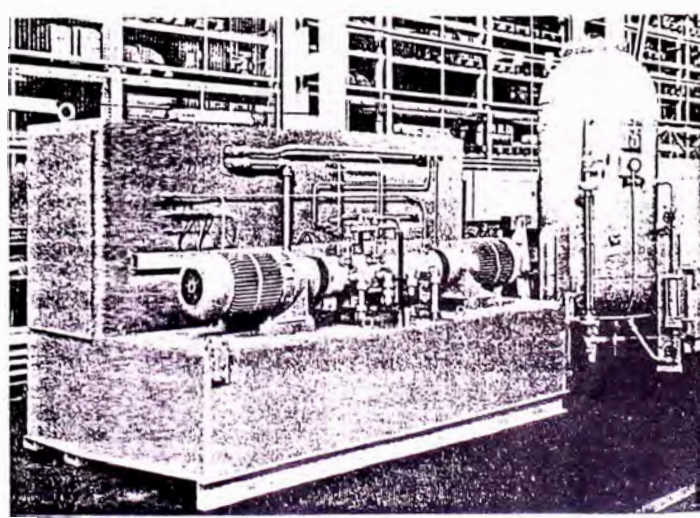
customer, power station staff, consulting engineers and manufacturer in all stages of the plant design and construction. Ω



12 Governor control panel.



13 Electronic governing system –positioning for deflectors and six needles, speed regulation and load/frequency control.



14 Governor – hydraulic part (two pumps, input 24.4 kW each, pressure 36 bar, oil reservoir volume 2 m³).