



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE
MANABÍ "EXTENSIÓN CHONE"**

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICO**

TEMA:

**ANALISIS Y FACTIBILIDAD EN LA GENERACION DE ENERGIA
ELECTRICA DE LA REPRESA PROYECTO PROPOSITO MULTIPLE
CHONE, APROVECHANDO EL FLUJO DEL AGUA DE LA REPRESA DEL
SITIO RIO GRANDE, PARROQUIA SANTA RITA, CANTON CHONE.
DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2012**

AUTORES:

**VEGA PALMA GONZALO ADALBERTO
MERA VILLALVA JACINTO ANTONIO**

TUTOR:

ING. LOOR MARCILLO JOSE

CHONE-MANABÍ- ECUADOR

2013

Ing. **Loor Marcillo José** Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone, en calidad de director de tesis,

CERTIFICO:

Que la presente TESIS DE GRADO titulada: “**ANALISIS Y FACTIBILIDAD EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPRESA PROYECTO PROPOSITO MULTIPLE CHONE, APROVECHANDO EL FLUJO DEL AGUA DE LA REPRESA DEL SITIO RIO GRANDE, PARROQUIA SANTA RITA, CANTON CHONE. DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2012**”, ha sido exhaustivamente revisada en varias sesiones de trabajo, se encuentra lista para su presentación y apta para su defensa.

Las opiniones y conceptos vertidos en esta Tesis de Grado son fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autores **Vega Palma Gonzalo Adalberto** y **Mera Villalva Jacinto Antonio** siendo de su exclusiva responsabilidad.

ING. LOOR MARCILLO JOSÉ

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de las investigaciones, opiniones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentados en esta Tesis de Grado, es exclusividad de sus autores.

**Vega Palma Gonzalo Adalberto
Antonio**

AUTOR

Mera Villalva Jacinto

AUTOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ EXTENSIÓN CHONE

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: ANALISIS Y FACTIBILIDAD EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPRESA PROYECTO PROPOSITO MULTIPLE CHONE, APROVECHANDO EL FLUJO DEL AGUA DE LA REPRESA DEL SITIO RIO GRANDE, PARROQUIA SANTA RITA, CANTON CHONE. DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2012 elaborado por los egresados **Vega Palma Gonzalo Adalberto** y **Mera Villalva Jacinto Antonio** de la escuela de ingeniería Eléctrica.

Dr. Marcos Zambrano Zambrano Mgs. Die

.....

DECANO
TESIS

DIRECTOR DE

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

SECRETARIA

DEDICATORIA

De manera muy especial este triunfo a Dios y a mi familia en especial mis padres Vega Looz Ramón Gonzalo y Palma Palma Zoila quienes fueron la base primordial para lograr mis ideales.

Mi adorada esposa Verónica Muñoz quien deposito su amor, ternura, confianza y apoyo estando con migo en momentos buenos y malos.

Al amor de mi vida, mi apreciada hija Zohe Vega Muñoz, quien es lo más maravilloso que Dios me ha regalado.

A mis amigos, compañeros y cada una de las personas que de una u otra forma ayudaron a que alcance mis metas propuestas.

A la universidad Laica Eloy Alfaro Extensión Chone y sus catedráticos que supieron instruirme con sus enseñanzas.

GONZALO ADALBERTO.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y las fuerzas suficientes, para poder llegar a esta instancia de la carrera con seguridad y confianza en cada paso de mi existencia.

A mi querida madre que pese al no estar en el espacio terrenal, sé que desde lo más alto del cielo está cuidándome.

A mi padre que sin duda es el espejo del cual supe reflejarme.

Al director de mi Tesis el Ing. José Loor por ayudarme a realizar esta ardua labor.

GONZALO ADALBERTO.

DEDICATORIA

De manera especial a mi papá Fabián Bravo Mera por ser la persona que me inculco siempre el estudio.

A mi mamá Diana Villalva Mera, que supo enseñarme que con sacrificio y perseverancia todo es posible.

A mi esposa Laura Cedeño Loor, por comprenderme y siempre estar a mi lado.

A mis hijos por entender mis obligaciones y ausencias.

A mis hermanos por brindarme apoyo y confianza.

JACINTO ANTONIO.

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios que me permitió gozar de buena salud e ilumino mi camino en este proceso formativo.

A los profesores que día a día con sus experiencias supieron enriquecer mis conocimientos.

A mi papá Fabián Bravo Mera, por ser la persona que con sus sabios consejos me supo guiar hacia el camino correcto.

A mi mamá Diana Villalva Mera, por estar siempre a mi lado a pesar de sus ocupaciones.

A mi esposa Laura Cedeño Loo por ser la persona que con cariño y amor supo entender mis ausencias y sacrificio.

A mis hijos que con sus ocurrencias y travesuras me motivan día a día a ser mejor.

A mi compadre Adalberto Vega ya que sin el esta tesis no hubiera sido posible.

JACINTO ANTONIO.

INDICE	Págs.
Introducción.	1
Planteamiento del problema.	2
Justificación.	5
Objetivos.	6
 <u>CAPITULO. I</u>	
Marco Teórico.	7
1.1. Teoría general de la represa Proyecto Propósito Múltiple Chone.	7
Objeto del Proyecto de presa sobre el rio Grande.	7
Características principales de las obras.	9
Datos básicos de diseño.	13
Estudio de materiales.	28
Bases de diseño.	31
Curvas características del embalse.	33
Niveles característicos del embalse.	34
Cuerpo de la presa.	37
Cimentación en laderas.	40
Descripción del cuerpo de presa.	40
Aliviadero.	44
	9

Avenida de diseño.	45
Análisis de optimización.	46
Canal de alimentación.	47
Vertedero.	47
Rápida de descarga.	47
Cuenca disipador.	48
Canal de restitución.	49
Obra de desvío.	49
Desagüe de fondo.	53
Tomas para riego y abastecimiento de agua potable.	55
1.2. Centrales hidroeléctricas con sus componentes y características de la	
Casa de Maquina.	58
Componentes de las centrales Hidroeléctricas.	60
Tipos de turbinas Hidráulicas.	61
Casa de Máquinas.	70
Características Generales De Una Central Hidráulica	72
Características De Carga De Una Central Hidráulica.	79
Potencia de una Central Hidroeléctrica.	90
Cálculos Hidrodinámicos.	93
Tuberías de presión.	96
	10

Diámetros de la tubería de presión.	97
Tipos de generadores Hidroeléctricos.	98
Funcionamiento de un generador Hidráulico.	101
Transformador Eléctrico.	111

CAPITULO II

Hipótesis.	114
Variables.	114

CAPITULO III

Metodología.	115
Tipos de Investigación.	115
Diseño de la Investigación.	115
Método.	116
Técnica de recolección de Información.	116
Obtención de la Información.	117
Población y Muestra.	117
Marco Administrativos.	119
Recursos Humanos.	119

Recursos Financieros.	119
-----------------------	-----

CAPITULO IV

Análisis de Resultado.	120
Comprobación de la Hipótesis.	127

CAPÍTULO V

Conclusiones.	128
Recomendaciones.	129
Bibliografía.	130
Anexos.	132

INTRODUCCION

En la segunda década de siglo XXI el uso de energía obtenida de la combustión de hidrocarburos está generando grandes problemas al medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, que incide en el clima, es por esto la necesidad de buscar y remplazar la energía basada en la combustión de hidrocarburos por energía eléctrica obtenida a partir de la energía cinética del agua comúnmente conocida como energía hidroeléctrica.

Una de las ventajas que presenta la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone es de almacenar agua para controlar sistemas de inundaciones presentados en la ciudad, además del sistema de riego y agua potable.

Además de buscar nuevas fuentes de energía también hay que optimizar el uso de los recursos disponibles por la naturaleza, es por esto el diseñar una central hidroeléctrica utilizando el flujo del agua de la represa Proyecto Propósito Múltiple Chone para su futura construcción.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En época de estiaje en nuestro país se generan graves inconvenientes por el déficit de energía eléctrica, por lo cual hemos visto la necesidad de investigar la factibilidad de generación de energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica en el Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Con el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, y para un mejor estándar de calidad en el Sistema eléctrico la Educación Superior a nivel mundial considera de manera primordial tener una armonía con la naturaleza en todos sus ambientes con la finalidad de favorecer la vida del reino animal, vegetal y de las personas por ser un estándar de calidad que garantiza la tranquilidad y el convivir en armonía de la sociedad; y esto se consigue con un excelente uso racional de la energía, y que para mayor confiabilidad se está utilizando la energía hidráulica por ser obtenida de los recursos naturales y no contaminante para el ambiente.

En la República del Ecuador con la finalidad de mejorar el suministro de energía a través del sistema nacional interconectado, ha afianzado por optar en construir centrales Hidroeléctricas en el país ya que es una fuente con menor impacto ambiental y de menos costo económico en su construcción.

La ciudad de Chone, el Gobierno Ecuatoriano han considerado la construcción de la represa Proyecto Propósito Múltiple Chone para evitar inundaciones presentadas en épocas invernales, es por esto que al realizar esta tesis pretendemos demostrar que aprovechando las grandes cantidades de agua que proporcionará el desfogue de la

represa Proyecto Propósito Múltiple Chone es posible la generación de energía eléctrica.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo contribuye la generación de energía eléctrica del Proyecto Propósito Múltiple Chone aprovechando el flujo de agua de la represa del sitio Rio Grande Parroquia Sta. Rita, Cantón Chone.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Campo de estudio.- Campo eléctrico

Área.- Flujo del agua de la represa

Aspecto.-Centrales eléctricas

Tema.- Análisis y factibilidad en la generación de energía eléctrica de la represa proyecto propósito múltiple Chone, aprovechando el flujo del agua de la represa del sitio rio grande, parroquia Sta. Rita, Cantón Chone. Durante el segundo semestre del año 2012.

Problema.-falta de un sistema de generación eléctrica al complejo del proyecto Propósito Múltiple Chone.

Delimitación espacial.-La investigación se desarrollara en el sitio Rio Grande parroquia santa Rita.

Delimitación temporal.- La investigación se realizara desde el último mes del 2012 y los dos primeros del año 2013

INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

PREGUNTAS DIRECTRICES PARA OBJETIVOS GENERALES

¿Cómo evitar que se paralice el suministro de operación del proyecto Propósito Múltiple Chone por falta de energía eléctrica?

PREGUNTAS DIRECTRICES PARA OBJETIVOS ESPECÍFICOS

¿Cómo se determinan las características del desfogue de una represa?

¿Qué dimensiones debe tener los ductos de la represa para generar energía mediante turbinas?

¿Cuál será la potencia de generación de energía eléctrica mediante turbinas para abastecer el complejo del proyecto Propósito Múltiple Chone?

¿Cómo determinar las capacidades de los generadores para satisfacer las necesidades requeridas?

JUSTIFICACION

Los países industrializados a través del programa del calentamiento global están preocupados por las emisiones del Co2, que cada año se incrementan en forma acelerada, ante ello, el Ecuador ha programado la construcción de varias centrales hidroeléctricas aprovechando los recursos renovables.

De igual manera fuentes de energía no renovable derivados del petróleo están generando cambios climáticos y degenerando el medio ambiente, por eso es necesario buscar fuentes de energía renovable como la energía Hidroeléctrica ya que es un recurso sumamente abundante en nuestro país.

El presente trabajo de investigación bajo este enfoque es plenamente importante, por cuanto ya existe información necesaria acerca de la construcción de la represa Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Convirtiéndose así en una herramienta primordial para el estudio de factibilidad de generación de energía eléctrica, creciendo el nivel educativo para nuevas investigaciones a las futuras generaciones de ingenieros eléctricos

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar a través de los fundamentos teóricos y de cálculos la factibilidad de la generación de energía eléctrica mediante turbinas, aprovechando el desfogue de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone, para servir al sistema en las emergencias del (S.N.I.)

Objetivos Específicos:

*Analizar la estructura de la represa del proyecto Propósito Múltiple Chone.

*Enumerar las características del embalse.

*Indicar la velocidad de salida del agua en época de verano.

*Calcular los parámetros que determinan la factibilidad o no la generación de energía eléctrica.

CAPITULO I

Marco Teórico

1.1. TEORIA GENERAL DE LA REPRESA PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE.

En el presente Informe se establecen los trabajos de actualización relacionados con la Presa del Río Grande, presentando una descripción y justificación sucinta de la solución adoptada, haciendo referencia en cada oportunidad al anexo correspondiente para un mayor detalle y, también una relación de las labores que se han venido ejecutando con relación a los otros componentes del proyecto. Es importante dejar indicado que el camino de acceso a la Presa de la cual se hace referencia en el apartado respectivo, fue diseñado para la operación de una Presa Corta Pico ubicada en el Río Grande, la misma que tiene una cota de coronación de 37,50 msnm. En vista de que la Presa del Río Grande se la considera dentro del Proyecto Actualizado como una Presa de Embalse con una cota de coronación de 69,50 msnm, el diseño del camino de acceso en su parte final deberá ser revisado.

OBJETO DEL PROYECTO DE PRESA SOBRE EL RIO GRANDE

El objeto y alcance del presente proyecto es el de definir la Presa de Río Grande y sus obras anexas, para que con los documentos del Proyecto de Presa actualizado se pueda ejecutar la construcción de las obras.

El sitio de implantación de la presa de Río Grande se ubica cerca de la ciudad de Chone, 1 Km aguas abajo de la confluencia del Río Platanales con el Río Grande (en las coordenadas geográficas 9.923.000 N y 612.700 E); partiendo de la ciudad de Chone, se llega al sitio de presa después de recorrer 15 Km, de los cuales los siete

primeros kilómetros se desarrollan por la carretera Chone-Santo Domingo, y los ocho kilómetros restantes por el camino que se inicia en San Andrés y que pasando por El Pueblito conduce a El Ceibo, El Aguacate y Piedra de Plata.

En el presente Informe se hace una descripción y justificación sucinta de la solución adoptada, haciendo referencia en cada oportunidad al anexo correspondiente para un mayor detalle.

Desde el punto de vista de un efectivo control de las inundaciones en la ciudad de Chone, no resulta suficiente por separado establecer las obras del encauzamiento o de la Presa sobre el Río Grande por separado, sino la combinación de ambas.

El embalse de Río Grande está destinado a regular las aportaciones del Río Grande con una triple finalidad que es la de asegurar el abastecimiento urbano e industrial para la ciudad de Chone y poblaciones aledañas hasta el año 2.038, satisfacer la demanda de una zona de riego de 2.220 ha y contribuir a disminuir los riesgos de inundación de la ciudad de Chone controlando las avenidas del Río Grande.

El embalse alcanza un volumen útil de 75,74 Hm³, lo que permite regular 52,76 Hm³ anuales, destinando 40,81 Hm³ (77%); a riego y el resto 11,95 Hm³ (23%) para abastecimiento urbano e industrial.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS OBRAS

a) Embalse

Volumen total:	113,24 Hm ³
Volumen útil	75,74 Hm ³
Volumen muerto	8,64 Hm ³
Nivel máximo de explotación	65,00 m.s.n.m
Nivel mínimo de explotación	48,00 m.s.n.m
Máximo nivel en avenidas	68,05 m.s.n.m

b) Presa

Tipo	materiales sueltos
Cota de coronación (sin contraflecha)	69,50 m.s.n.m
Cota cauce del río en eje de presa	23,00 m.s.n.m
Altura máxima de la presa sobre cimientos	57,50 m
Longitud de coronación	276,00 m
Ancho de coronación	8,00 m
Volumen de rellenos	1'709.583,00 m ³
Material en núcleo	387.405,00 m ³
Material en espaldones	1'225.441,00 m ³
Material en filtros, drenes y protecciones	96.737,00 m ³

c) Tratamiento de la cimentación

Pantalla mortero plástico

- Espesor 0,60 m
- Máxima profundidad 35,00 m
- Superficie 3.306,00 m²

Pantalla de inyección

- Superficie de tratamiento 14.950,00 m²
- Profundidad 25-30 m
- Separación entre taladros 3,00 m

d) Obra de desvío

Ataguía

- Cota de coronación 36,00 m.s.n.m
- Altura máxima sobre cimientos 14,50 m
- Longitud de coronación 154,00 m
- Volumen de rellenos 39.107,00 m³

Túnel de desvío

- Caudal de diseño 45,00 m³/s
- Sección tipo hasta cámara de válvula circular Ø= 3,00 m
- Sección tipo después de cámara de válvulas Herradura Ø = 3,00 m
- Longitud total 314,49 m

e) Desagüe de fondo

Caudal de diseño 43,80 m³/s

Equipo hidromecánico: dos compuertas deslizantes tipo Bureau de 1,50 m x 1,50 m, accionadas por servomotor.

f) Restitución ecológica

Caudal máximo	700 l/s
Diámetro del conducto	200 mm

Equipo hidromecánico: dos válvulas de compuerta Ø 200 mm, de accionamiento manual.

g) Pozo de acceso cámara de válvulas

Sección circular	Ø = 3,5 m
Profundidad	38,00 m

h) Galería de acceso cámara de válvulas

Sección rectangular abovedada	
Longitud	52,25 m

i) Aliviadero

Tipo	labio fijo
Avenida de diseño	0,5 AMP
Caudal punta avenida de diseño	296,00 m ³ /s

Caudal de diseño	231,00 m ³ /s
Longitud del vertedero	20,00 m
Cota umbral vertedero	65,00 m.s.n.m
Longitud total aliviadero	195,00 m
Cota solera cuenco disipador	17,00 m.s.n.m

j) Obra de toma

Toma para riego

- Cota de la toma 46,70 m.s.n.m
- Caudal de diseño 4,00 m³/s
- Diámetro del conducto 1.400 mm
- Longitud del conducto 363,00 m
- Equipo hidromecánico una válvula mariposa Ø 1400 mm, 2 válvulas mariposa Ø 1000 mm, 2 válvulas Howell Bunger Ø 1000 mm.

Tomas para abastecimiento

- Cota toma superior 60,50 m.s.n.m
- Cota toma intermedia 55,50 m.s.n.m
- Cota toma inferior 46,40 m.s.n.m
- Diámetro del conducto 700 mm
- Longitud del conducto hasta el exterior 260,20 m
- Equipo hidromecánico 4 válvulas de compuerta Ø 400 mm. 2 válvulas de compuerta Ø 700 mm.

Las unidades de obra más importantes de las que forman la Presa del Río Grande son las siguientes:

Excavaciones a cielo abierto	748.700 m ³
Excavaciones subterráneas	9.270 m ³
Rellenos	1'761.900 m ³
Hormigones	13.960 m ³
Acero en armaduras	585.450 Kg

DATOS BASICOS DE DISEÑO

Se considera dentro del presente Item los estudios hidrológicos que se han desarrollado, los trabajos topográficos establecidos para la zona del proyecto.

Estudio Hidrológico

A partir de los datos de aforos en la estación fluviométrica del Río Grande, la misma que tiene una cuenca de aportación de 186 Km, se han estimado las aportaciones medias mensuales en el sitio de Presa del Río Grande, en donde la cuenca de aportación es del orden de 159 Km², estableciéndose una serie histórica cuyos resultados medios para el año hidrológico se los incluye a continuación.

MES	APORTACION MEDIA MENSUAL (Hm ³)
Diciembre	1.87
Enero	8.96
Febrero	21.44
Marzo	31.84
Abril	19.38
Mayo	6.52
Junio	3.82
Julio	3.17
Agosto	1.06
Septiembre	0.71
Octubre	0.32
Noviembre	0.66

Teniéndose una aportación media anual calculada en base a los datos indicados del orden de 99.76 Hm³.

Para el cálculo de los máximos caudales que se pueden esperar en el sitio de cierre de la Presa del Río Grande, se procedió a definirla mediante aguaceros de una duración aproximadamente igual a la del tiempo de concentración de su cuenca vertiente. Resultados que se consideraron inicialmente para el Estudio de Soluciones, correspondían a un aguacero de 7 horas de duración, obteniéndose los siguientes valores de caudales punta y volúmenes de aportación de acuerdo a los diferentes períodos de retorno establecidos:

PERÍODO DE RETORNO (Años)	CAUDAL PUNTA (m ³ /s)	VOLUMEN (10 m ³)
50	415	8.571
100	504	10.534
500	656	13.934
1.00	749	16.033
AMP 1.874 42.436		

Obteniéndose también los caudales de avenida estacionales, los mismos que corresponden al período no húmedo de Junio a Diciembre, con los siguientes resultados:

PERÍODO DE RETORNO (Años)	CAUDAL (m ³ /s)	VOLUMEN (10 m ³)
10	22	376
25	35	617

Para efecto del diseño de las obras se procedió a ejecutar una corrida que consideraba una ampliación del estudio ejecutado que consideraba aguaceros de duraciones de 12, 24, 48 y 72 h. Una mayor duración del aguacero lleva consigo un incremento en el volumen de la onda de avenida y, por el contrario, una disminución del caudal punta. La gama de aguaceros analizados existe uno, el de 48 horas de duración, que resulta ser el más desfavorable frente al efecto laminador del embalse, siendo este aguacero el que debido a su volumen y caudal punta, produce la máxima sobre elevación en el embalse, considerándolo por tanto para el diseño del aliviadero.

Los resultados para un aguacero de 48 horas de duración son los siguientes:

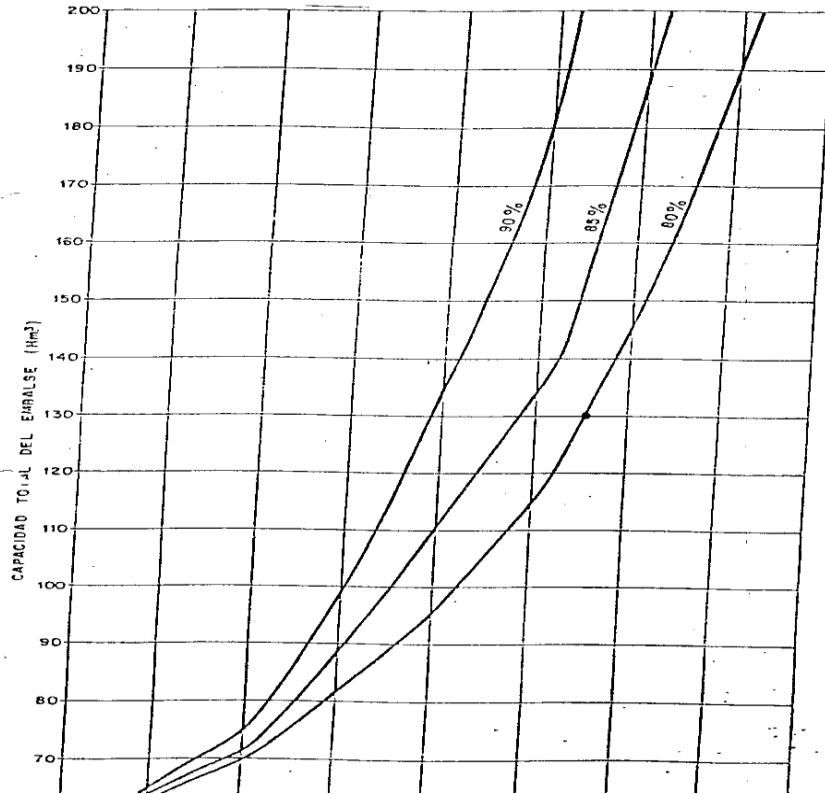
PERÍODO DE RETORNO (Años)	CAUDAL PUNTA (m ³ /s)	VOLUMEN (10 m ³)
50	174	20.281
100	198	23.761
500	242	31.335
1.000	272	34.978
0.05 AMP	296	38.656

En el diseño de la obra de desvío, se ha seguido con el aguacero que produce el mayor caudal, esto es un aguacero de 7 horas de duración, ya que el aguacero de 48 horas parece excesivo para el diseño de una obra temporal.

En lo que tiene relación con el estudio de regulación el mismo se lo ha realizado considerando los siguientes datos de partida.

- * Curvas características del embalse
 - * Necesidades para abastecimiento de agua potable
 - * Necesidades para riego
 - * Pérdidas por evaporación
 - * Caudal ecológico estimado
 - * Embalse muerto
 - * Garantía para el abastecimiento de agua potable
 - * Garantía para la demanda de riego
 - * Se considera fallo en el abastecimiento de agua potable, el mes que se suministra por debajo del 98% de la demanda nominal. Para el riego esta cifra se fija en el 90 %.
- Se incluye a continuación un gráfico en el que se representan las curvas de regulación para riego con garantías del 90, 85 y 80 por ciento.

**CURVAS DE REGULACION PARA RIEGO*
EMBALSE DEL RIO GRANDE**



(1)

a) Riesgo Sísmico

El área del Proyecto de Propósito Múltiple Chone se encuentra ubicada en la Región de la Costa dentro del territorio de lo que es la provincia de Manabí, se encuentra incluida en las unidades geológicas denominadas Cuenca Pre-Arco Norte y Cordillera Costera. En la primera afloran rocas sedimentarias finas (lutitas y areniscas), depositadas en un ambiente tranquilo y no afectadas por tectonismo posterior. El sustrato cretácico lo constituye la formación Piñón, de rocas efusivas.

La cordillera Costera tiene litología similar, pero con intrusiones volcánicas y apreciable fallamiento, especialmente resulta importante para el estudio que de la Presa del Río Grande la subducción de la placa de Nazca (oceánica) bajo la de Sudamérica (Continental), la misma que condiciona los rasgos tectónicos y la actividad sísmica de toda la región.

Se concluye que el área del proyecto puede estar sometida a un sismo de intensidad MM VIII-IX, produciendo una aceleración sísmica horizontal en afloramiento rocoso de 0.20 g, lo que da a entender que se trata de un sismo con origen en la subducción de la placa de Nazca bajo la de Sudamérica y epicentro en la fase Ecuador. La frecuencia de presentación del sismo de diseño se considera asociada a un período de retorno de 500 años.

b) Erosión de la Cuenca

El Estudio de Erosión de la cuenca alta del río Grande se lo ha realizado siguiendo los lineamientos establecidos para este tipo de proyectos, para lo que se ha procedido a utilizar los datos de los estudios hidrológico, geológico, climático y sedimentológico, con el soporte topográfico actualizado que se tiene de la zona.

El estudio de erosión que se ha establecido, consta de tres partes fundamentales:

- * Análisis cualitativo de la erosión
- * Análisis cuantitativo de la erosión
- * Medidas de corrección

En la primera parte se analiza el fenómeno de la erosión desde el punto de vista cualitativo a través de los factores que intervienen en él como son el clima, la pendiente del terreno, la cubierta vegetal y el tipo de suelo. Como resultado final se ha establecido una zonificación de la cuenca, indicando en cada zona su índice de erosión.

En la segunda parte se establece una cifra que indica cual es la degradación específica de la cuenca y, por consiguiente, cual es el grado de aterramiento previsible en el embalse.

Finalmente, la última parte estudia las medidas que se estima deben ser consideradas, a fin de intentar paliar los efectos nocivos del proceso de erosión, que de una u otra forma se ve reflejado en programas de reforestación y control de la cuenca en base a la implantación de una red de drenaje eficiente y corrección de barrancos. El Estudio de Erosión que se ha establecido para la cuenca alta del Río Grande, estima un valor de aportaciones de sólidos al embalse del orden de 1.600 m³/Km²/año, la misma que equivale a 2.000 Tn/Km²/año, de lo que se puede establecer en base a estos valores que la cuenca alta del río Grande se la puede clasificar como de una erosión fuerte. El tipo de erosión fuerte es una particularidad, observada ya por Fournier, de todas las cuencas que presentan una desigual repartición anual de la lluvia y una concentración de precipitaciones en un período corto del año, como es el caso de la zona en estudio.

La aportación total de sedimentos a lo largo de toda la vida útil del embalse, que se la ha considerado en 100 años, es la siguiente:

$$V = 1.600 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{año} \times 159 \text{ km}^2 \times 100 \text{ años} = 25,4 \text{ Hm}^3$$

En esta estimación se parte del supuesto de que la totalidad del material sólido erosionado en la cuenca llega hasta el embalse.

La eficiencia del embalse en lo que se refiere a la capacidad para retener los sedimentos que afluyen a él, se ha estimado de acuerdo con las experiencias de Brune que en base a la relación capacidad del embalse - volumen de aportación media anual, permite conocer el porcentaje de sedimentos retenidos en el embalse.

Para el embalse de Río Grande, con una capacidad de 113 Hm³ y una aportación media anual de 100 Hm³, la relación anteriormente citada es de 1.13, lo que significa que el porcentaje de sedimentos retenidos en el embalse está entre el 95 y el 100%, adoptando con criterio conservador el último valor.

Respecto a la distribución de los sedimentos dentro del embalse aspecto difícil de estimar, se han seguido los estudios realizados por Borland y Miller del U.S. Bureau of Reclamation, en los que se clasifican los embalses de acuerdo con su forma en cuatro tipos, y para cada uno de ellos se establece una curva que relaciona el tanto por ciento de sedimento depositado respecto del volumen del embalse, con el tanto por ciento de la profundidad del embalse que resulta de la diferencia entre cota del aliviadero y cota del cauce del río ocupado por el sedimento depositado, lo que no es otra cosa que clasificar a los embalses según su curva volumen-altura.

La clasificación de los embalses según los autores citados es la siguiente:

TIPO DE EMBALSE	CLASIFICACION
I	Lago
II	Estribaciones de colina
III	Colina
IV	Garganta

Para el embalse de Río Grande, que de acuerdo a la clasificación anterior se la tiene entre los tipos II y III, donde el tanto por ciento del sedimento depositado respecto del embalse es del 22.5 % (25.4/113), resulta que la pérdida de altura del embalse en la proximidad de la presa es del 30 % o mejor dicho que en la proximidad de la presa, el sedimento sólido alcanzará un 27 % de la diferencia de cotas entre el máximo nivel de explotación y el cauce. Como la diferencia entre la cota del labio del aliviadero (65.00 m.s.n.m.) y la del cauce (22.00 m.s.n.m.) es de 43 m, el sedimento alcanzará en la proximidad de la presa la elevación 34.00 m.s.n.m. La estimación realizada de la disposición de los sedimentos en el embalse, ha servido para definir el nivel de captación de los desagües de fondo.

En el estudio para definir el volumen útil necesario, se ha supuesto que la totalidad de los sedimentos se depositan horizontalmente en la zona más próxima a la presa. Esta simplificación es válida para un embalse de las dimensiones y características como las que presenta el embalse de Río Grande.

Las obras de control o protección de la cuenca alta del Río Grande que aporta al embalse, se pueden resumir en lo siguiente:

* Reforestación con especies autóctonas de un total de 1900 ha, las mismas que se encuentran distribuidas por toda la cuenca y, que se encuentran situadas fundamentalmente en las zonas de mayor riesgo de erosión. La plantación se la ejecutará mediante ahoyado manual, con una densidad de una planta introducida por cada 6m.

* Creación, en las áreas de erosión moderada, de un sistema de drenaje constituido por zanjas que permitan la evacuación del agua de escorrentía hacia evacuaderos adecuados esto es arroyos o esteros, siendo la superficie a drenar del orden de 3.150 hectáreas.

* Corrección de cauces mediante la instalación de diques de mampostería.

De estas medidas, la de Reforestación y la de Corrección de Cauces pueden establecerse a corto plazo, estimándose que la que debe ejecutarse de suma urgencia son los procesos de Reforestación de los lugares indicados para ello.

El aterramiento del embalse no se va a producir a corto ni medio plazo por lo que no es preciso recurrir a soluciones drásticas y costosas para reducir las aportaciones sólidas al mismo.

En cualquier caso, después de establecer los programas de reforestación, debe tener prioridad la creación de la red de zanjas para el drenaje de las laderas. Este sistema presenta el grave inconveniente, de que exige unos trabajos de conservación

continuos, que deben ser emprendidos por el propietario del terreno. Sin embargo, este puede también beneficiarse directamente de este sistema, entre otras razones, porque puede establecer unas plantaciones productivas en el borde exterior de la zanja (Cítricos, bananos, cacao, etc.). Esta plantación, al crecer, incluso puede llegar a constituir por sí misma una barrera de contención de la erosión, supliendo a partir de este momento la labor de la zanja, evitando así sus gastos de conservación.

c) Geología

El emplazamiento de la Presa del Río Grande se ubica dentro de un contexto Terciario medianamente sísmico formado por las series ONZOLE y BORBON de facies areniscosa a lutítica. Estas secuencias presentan una casi absoluta horizontalidad, no apreciándose en la zona afectada por el proyecto ningún accidente tectónico o falla. A nivel de la presa, el valle presenta un llano aluvial ancho y unas laderas fuertes con ángulos de 40° a 45°, caracterizadas por la existencia de un coluvial extenso aunque de potencias inferiores, el mismo que se encuentra por encima de las cotas 40 msnm a 60 msnm con un espesor de 2 metros, siendo de un mayor más espesor en la proximidad del pie de las pendientes.

Los afloramientos en lo que respecta a areniscas horizontales, resultan ser escasos, la zona de la Presa corresponde a tres secuencias principales, las dos extremas constituidas principalmente por materiales areniscosos, la central por lutitas a limolitas con algunas intercalaciones de areniscas de grano fino. El diaclasado subvertical presenta dos orientaciones dominantes N 45 W y N 45 E.

A nivel del llano aluvial de la margen izquierda del emplazamiento de la Presa se destaca la presencia de un aluvial fino (base MI) a grueso (zona central y base MD) de gran potencia, siendo la máxima observada del orden de 38 m.

Los sondeos mecánicos que se han ejecutado en las laderas, ponen de manifiesto la existencia de un zócalo rocoso constituido por rocas blandas (lutitas), deleznales, alterables y de escasa resistencia pero de características impermeables. El tipo de presa corresponde a una obra de materiales sueltos, no existiendo mayores problemas a no ser eventuales asientos a nivel del río y la posible necesidad de establecer en dicha zona una pantalla impermeable hasta el zócalo, no existiendo dificultad grave de excavación y estabilidad de laderas.

d) Geotécnia

El Estudio Geotécnico de la cimentación tienen por objeto lo siguiente:

- * Recopilar toda la información Recopilar toda la información los distintos reconocimientos, sondeos, calicatas y ensayos de laboratorio, realizados para el proyecto de la Presa de Río Grande.

- * Predecir el comportamiento de la cimentación ante la construcción de la Presa

- * Establecer recomendaciones para el tratamiento de la cimentación y el diseño de la Presa.

En vista de las condiciones de cimentación en el sitio de Presa, especialmente difíciles en el llano aluvial, el Informe Geotécnico recomienda las siguientes medidas a considerar dentro del proyecto:

* Excavar los suelos aluviales bajo el cuerpo de Presa, tanto los suelos cohesivos como los granulares. Bajo el eje de Presa se considera necesario excavar hasta la cota 12 msnm aproximadamente, por encima de esta cota los suelos son extremadamente blandos y deformables, pudiéndose reducir de esta forma el asiento de la cimentación a 1,0-1,5 metros.

* Bajo ambos pies de la presa se considera necesario excavar hasta los niveles entre las cotas 15 msnm y 20 msnm, especialmente para eliminar las arenas superficiales susceptibles de licuación y construir un relleno bien compactado de al menos 10 metros de espesor, el mismo que garantizará un peso estabilizador suficiente, lo que resulta necesario a fin de evitar la licuación de las arenas que queden sin excavar, en el pie de aguas arriba este relleno podría ocupar todo el espacio entre la Presa y la Ataguía. Para facilitar la compactación de la base del relleno se recomienda extender un geotextil sobre el fondo de la excavación antes de proceder al relleno.

* La impermeabilización de la cimentación, con objeto de evitar las fugas por filtración, no se considera imprescindible. Sin embargo deberán tomarse medidas para evitar la aparición de subpresiones en el pie de aguas abajo de la Presa. Estas medidas pueden consistir en la impermeabilización vertical bajo el cuerpo de la Presa o en la colocación de un tapiz impermeable desde el núcleo hacia aguas arriba. En este último caso deberían disponerse en el pie de aguas abajo un pozo de alivio de subpresión.

* Si la impermeabilización es vertical en forma de una pantalla de bentonita cemento que intercepte todo el espesor del aluvial y llegue hasta la roca, deberá analizarse la deformabilidad de la pantalla y compararla con los asientos del aluvial. El diseño

deberá evitar que la diferente deformabilidad de pantalla y aluvial produzca sobrecargas excesivas en la pantalla y/o punzonamiento del núcleo. La situación de la pantalla mejoraría si se desplaza hacia aguas arriba, y se sitúa en el actual cauce del río donde las sobrecargas que aplica la presa es menor y la deformabilidad del aluvial también es más pequeña. El diseño deberá contemplar un adecuado enlace entre la pantalla y el núcleo impermeable; al menos los tres metros superiores de la pantalla deberán ser excavados en terraplén impermeable previamente construido.

* No se considera necesaria la excavación de todo el coluvial bajo el cuerpo de Presa, pero si de la parte más superficial. Bajo los espaldones se procederá a excavar en la parte baja de la ladera unos 5 metros, especificando un criterio flexible en función de la compacidad de la parte más superficial del coluvial no excavado. El núcleo debería quedar apoyado a mayor profundidad, preferentemente sobre la roca, no siendo necesario excavar roca alterada.

* Deberá construirse una cortina de inyecciones en las laderas que enlace con la impermeabilización del llano aluvial. En la margen izquierda, bajo el aliviadero, deberá extenderse la cortina de inyecciones para interceptar la filtración por la capa de arenisca más permeable encontrada. En la margen derecha deberá contarse también con la inyección específica de esta capa.

* El azud del aliviadero se apoya sobre el estrato de arenisca más fracturado que se encuentra ubicado en la ladera izquierda entre las cotas 40 msnm y 70 msnm, debiendo preverse inyecciones de consolidación bajo este azud del aliviadero. Para alejarlo del talud de la excavación general prevista para obtener materiales de esa ladera podría ser necesario hacer el canal del aliviadero con planta curva.

La rápida se desarrolla en parte sobre el estrato de arenisca antes citada y en parte sobre el estrato inferior de limolitas y lutitas. Las excavaciones en esa parte podrán hacerse con un talud 2 en horizontal por 3 en vertical y deberán protegerse inmediatamente con hormigón proyectado, mallazo y bulones.

* El cuenco del aliviadero se excava y cimenta en roca, lo que es una situación deseable, por lo que no se deberá mover hacia el río pues se cimentaría parte sobre la roca y parte sobre el aluvial.

* El túnel de desvío se excavará en limolitas y lutitas, de calidad Bieniawski II - III, buena a regular, presentándose problemas de expansividad que se lo ha tomado en cuenta así como su Índice Barton que es de 0.2 a 2. Se consideran excavables con rozadora y se deberá tomar la precaución de revestir la excavación de hormigón proyectado con mallazo para evitar los efectos de la rápida meteorización de la roca, y de la expansividad.

* El túnel de la obra de toma se excavará en areniscas de grano generalmente fino y limolitas, de calidad Bieniawski III-II, de regular a bueno. Se consideran excavables con rozadora, habiéndose tomado las precauciones correspondientes para el revestimiento con hormigón proyectado inmediatamente después de excavar, esto con el objeto de evitar los efectos de los cambios de humedad y de la meteorización de la roca.

ESTUDIO DE MATERIALES

Las zonas que han sido estudiadas para préstamo de los materiales que conformarán el cuerpo de la Presa del Río Grande son las que a continuación se dejan indicadas.

* Jobo Alto, situado en las inmediaciones del sitio de implantación de la Presa, sobre la margen izquierda, siendo el morro que constituye el estribo izquierdo de la Presa, que alcanza hasta la cota 170 msnm y se utilizará como cantera principal.

* Jobo Bajo, situado a unos 300 metros aguas abajo del sitio de implantación de la presa, a cotas entre la 30 msnm y la 70 msnm, sobre la margen izquierda y junto al camino de acceso a la Presa. Es representativo también de los depósitos coluviales de pie de monte, que aparecen a lo largo de todo el Valle del Río Grande, tanto aguas arriba como aguas abajo de la Presa.

* Zona de cultivos que se encuentra ubicada a unos 800 metros en línea recta aguas abajo del sitio de implantación de la Presa, a cotas entre la 90 msnm y la 120 msnm, sobre la margen derecha en una zona plana donde se ubican algunas parcelas cultivadas.

No se han investigado posibles préstamos en el llano aluvial, puesto que por la experiencia que se tiene del reconocimiento de la zona, se establece que se trata de suelos limosos con un elevado contenido de humedad, habiéndose confirmado esta situación en base a los reconocimientos realizados para la cimentación de la Presa, razón por la que se ha considerado preferible descartar la utilización de estos suelos cohesivos aluviales.

El volumen de material requerido para la construcción de la Presa del Río Grande resulta ser el siguiente.

Material impermeable en núcleo	387.400 m ³
Relleno en el espaldón aguas arriba	563.600 m ³
Relleno en el espaldón aguas abajo	661.830 m ³
Filtros, drenes, protecciones y áridos de hormigón.	109.300 m ³

Las fuentes de materiales que se han estudiado permiten obtener cifras muy superiores a estas necesidades en todos los tipos de material requerido.

La forma más económica de utilización será aprovechar al máximo el préstamo del Jobo Alto y hacer así lo más grande posible la explanada a excavar en la margen izquierda donde se ubicará el aliviadero. El corte resultante tendrá una altura de aproximadamente 100 metros, lo que exigirá un control cuidadoso al efectuar la excavación, la misma que se deberá realizar en bancos escalonados, efectuándose una protección adecuada de los taludes. El drenaje superficial en la coronación y en cada una de las bermas también se cuidará en detalle, requiriéndose para zonas de mayor fracturación el empleo de bulones.

La utilización de los distintos materiales que se pueden obtener del préstamo Jobo Alto será la siguiente:

* El coluvial, la roca alterada y la roca fracturada superficial, deberán ser excavadas con bulldozer pesado y ripper y, estos materiales serán destinados al núcleo

impermeable, debiendo estos materiales trabajarse en conjunto de forma que se pueda homogenizar el material resultante. Es difícil predecir el porcentaje de finos resultantes, que dependerá de la forma en que sea fragmentado y machacado el material extraído por la maquinaria de construcción, pero se debe establecer que el equipo a utilizar en obra triture el material hasta obtener porcentajes de finos superiores al 30%. La utilización de este material requerirá prever un sistema de humedecimiento puesto que en buena parte de la estación seca su humedad natural estará por debajo de la óptima Proctor.

* La roca más resistente y menos fracturada requerirá el empleo de voladuras de afloje antes del ripado, obteniéndose de ellas un producto variado. La arenisca más competente, que deberá ser manejada en forma que se fragmente y triture lo menos posible se deberá emplear en el espaldón de aguas arriba. El resto de la roca podrá emplearse en el relleno de baja densidad muy desfavorable, por lo que en principio se deberá pensar en no utilizarlas. El resultado de la compactación en el espaldón de aguas arriba seguramente será de un material evitar el riesgo de licuación que se podría producir en un sismo de evitar el riesgo de licuación que se podría producir en un sismo de densidad relativa alta. Para garantizar que el grado de compactación sea elevado se ha especificado un espesor de tongada reducido y un rodillo pesado.

* El préstamo en la Zona de Cultivos, puede ser utilizado también para obtener material para el núcleo, desechándose las capas finas que tienen densidades Proctor muy bajas, siendo este material de características tobáceas. El material a obtener de este sitio será similar al material superficial del sitio Jobo Alto y tendrá los mismos problemas, o quizá mayores en lo referente al contenido de humedad, a su variación estacional y a su relación con la humedad óptima de compactación.

BASES DE DISEÑO

El estudio se realizó partiendo de unos supuestos comunes a todas las alternativas estudiadas, para lo cual se definieron las curvas características del embalse (cota-superficie; cota- volumen), de igual forma se establecieron los niveles característicos del embalse como resultado del estudio de regulación y de la sobre elevación por avenidas, niveles que son los que a continuación se dejan indicado.

Máximo nivel en avenidas	67,06 m.s.n.m
Máximo nivel de explotación	65,00 m.s.n.m
Mínimo nivel de explotación	48,00 m.s.n.m
Nivel embalse muerto	35,00 m.s.n.m
Embalse total	113,24 Hm ³
Embalse útil	75,74 Hm ³
Embalse muerto (bajo desagüe de fondo)	8,64 Hm ³

De estos niveles característicos, solamente el máximo nivel en avenidas fue alterado para el diseño definitivo de la solución elegida, esto debido a que se cambió la avenida de diseño del aliviadero, pasando de la avenida milenaria a la avenida 50 por ciento de la AMP (Avenida Máxima Probable). El tipo de presa estaba condicionado por la existencia en la cimentación de un potente aluvial de 40 metros de espesor, esto naturalmente hacía impensable cualquier otro tipo de solución que no fuera una Presa de materiales sueltos. La utilización integral del préstamo Jobo Alto como solución más idónea para obtener los rellenos del cuerpo de la Presa, hizo que la sección tipo de la Presa fuera la misma en todas las alternativas.

La sección tipo elegida, corresponde a una Presa de materiales sueltos zonificada, con núcleo impermeable central y espaldones semipermeables. La explanada creada a la cota 70 msnm aproximadamente, en la explotación del préstamo Jobo Alto, sugiere implantar sobre ella el aliviadero, el mismo que contempla implementar en la margen izquierda.

Por razones de seguridad y morfología se ha adoptado un aliviadero de superficie, de labio fijo sin compuertas, adoptándose como avenida de diseño para el aliviadero la milenaria, siguiendo el criterio que recomienda la publicación “Floods and reservoir safety: an engineering guide” del Instituto de Ingenieros Civiles de Londres, adoptándose una estructura de resguardos amplios, permitiendo con ello aliviar la avenida 0,50 AMP.

Atendiendo a los trabajos que son necesarios realizar en la cimentación de la presa (excavación de los 18 primeros metros del aluvial del río), se adoptó como avenida de diseño para la obra de desvío la correspondiente al período de retorno de 50 años, cuyo caudal punta es de 415 m³/seg.

La cota de la toma de riego vino impuesta por la cota de solera del canal en cabecera, cota mínima que permitiera el dominio de la zona de riego, fijándose en la cota 47,10 m.s.n.m. El caudal de diseño de la toma de riego es una consecuencia de las necesidades máximas de riego, fijada en el orden de 4,0 m³/seg.

Las tomas para abastecimiento de agua potable, de acuerdo con el informe del especialista en tratamiento de agua para abastecimiento humano, se independizaron de la toma de riego, situando además a diferentes cotas. Las cotas de toma recomendadas en el informe fueron:

Toma superior	entre las cotas 60 msnm y la 61 msnm
Toma intermedia	entre las cotas 55 msnm y la 56 msnm
Toma baja	entre las cotas 47 msnm y la 48 msnm

La toma inferior para abastecimiento viene impuesta por la toma de riego, ya que no es posible una toma a menor cota teniendo que aprovechar, como es lógico, el mismo túnel para las conducciones de riego y abastecimiento.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

Las curvas características del embalse son aquellas que definen la superficie y el volumen del mismo en función de la cota del nivel de agua, los valores que se han obtenido en base a la cota del nivel de agua en el embalse son los que se presentan en el cuadro que se incorpora a continuación.

COTA (m.s.n.m)	SUPERFICIE (Ha)	VOLUMEN (Hm ³)
22.00		
25.00	24.41	0.366
30.00	24.41	3.011
35.00	143.73	8.640
40.00	199.42	17.219
45.00	264.26	28.811
50.00	331.96	43.716
55.00	410.07	62.267
60.00	505.08	85.146
65.00	618.78	113.242
70.00	757.45	147.648
75.00	923.47	189.671
80.00	1131.90	241.055
85.00	1345.69	302.995

(2)

Se ha cubicado también el embalse formado por la ataguía presentando diferencias menores del 1 por ciento respecto de la curva volumen-cotas del embalse principal, habiéndose adoptado la parte inferior de las curvas características del embalse principal como curvas características del embalse formado por la ataguía.

NIVELES CARACTERÍSTICOS DEL EMBALSE

Se ha definido de acuerdo con los resultados del estudio de regulación realizado, el máximo nivel de explotación; el mínimo nivel de explotación viene impuesto por la cota en cabecera del canal que a su vez viene obligada por la necesidad de dominio de la zona de riego fijada.

ACOLIT Cía Ltda. Asesoría y Consultora del Litoral Cía Ltda. 2008

Los niveles referidos son los siguientes:

Mínimo nivel de explotación	48.00 msnm
Máximo nivel de explotación	65.00 msnm

a) Máximo Nivel Extraordinario

Viene definido por la sobreelevación que se alcanza en el embalse debido al tránsito por el mismo de la avenida de diseño del aliviadero, habiéndose tomado el 50 % de la avenida máxima probable (AMP) como avenida de diseño, con lo que se tiene una sobreelevación de 3,05 metros siendo la cota 68,05 msnm como la de máximo nivel extraordinario.

b) Cota de Coronación de la Presa

La cota de coronación de la presa es el resultado de añadir al máximo nivel extraordinario un resguardo, el mismo que considera la sobreelevación en el embalse debido a diferentes causas como serían arrastre del agua por el viento (H), altura de las olas (H), altura de rodamiento de las olas sobre el talud (H) y asentamiento de la presa debido a efectos sísmicos (H).

Diferentes experiencias estiman en $2 H_s$ la suma de H_1 , H_2 y H_3 , siendo H_s la altura de la ola significativa, que se puede calcular mediante la expresión de Saville.

$$\frac{eH_s}{V} = \frac{L}{V} \cdot r \cdot r^{0.75} \cdot \frac{eJ}{V}$$

Ecuación que se puede aplicar para Fetch pequeños en embalses, siendo los parámetros que intervienen en la ecuación anterior los siguientes.

V ----- velocidad del viento en m/seg

F ----- fetch en metros.

g ----- 9.81 m/seg²

Valores estos que para el embalse de Río Grande se tiene lo siguiente.

$$V = 80 \text{ Km/h} = 22,2 \text{ m/seg}$$

$$F = 1.500 \text{ metros}$$

Con lo que el valor de la altura H tiene el valor que se presenta a continuación.

$$H_s = 0,64 \text{ m}$$

El asentamiento por efectos sísmicos se estima en un 0.5 por ciento de la altura de presa.

$$H = 0,005 \times 57,50 = 0,29 \text{ m.}$$

Por tanto, el resguardo será:

$$H = 2H_s + H = 2 \times 0,64 + 0,29 = 1,57$$

Sumando al máximo nivel extraordinario el resguardo estimado, obtenemos la cota 69.62 msnm, estableciéndose como resultado final de la cota de coronación la 69,50 msnm, valor suficientemente generoso ya que suponer que simultáneamente se produce la avenida máxima de diseño, el máximo viento sobre el fetch más desfavorable y una acción sísmica de consideración, resulta ser bastante conservador.

c) Resumen de Niveles Característicos

Mínimo nivel de explotación	48.00 msnm
Máximo nivel de explotación	65.00 msnm
Máximo nivel extraordinario	68.05 msnm
Coronación de la presa	69.50 msnm

CUERPO DE LA PRESA

La definición del cuerpo de presa incluye el tratamiento de la cimentación y la instrumentación prevista para la buena operación de la obra en su conjunto.

En la zona central en el sitio de implantación de la Presa del Río Grande, 50 metros en ambos lados del eje, la excavación alcanzará la cota 12 msnm, siendo esta excavación más superficial según nos alejemos del eje de la presa, esto es a medida que la altura de relleno de la presa disminuye. La mitad aproximadamente del espaldón de aguas arriba descansa sobre una excavación a la cota 20,00 msnm, en tanto que la mitad del espaldón de aguas abajo lo hace a la cota 18,00 msnm, estimándose con esta medida que se reducirá el asiento de la cimentación a 1,00-1,50 metros.

La eliminación de los sedimentos blandos hasta las cotas señaladas requiere excavar un volumen de 435.900 m³ entre 14 y 18 metros bajo el nivel freático; aunque las investigaciones realizadas ponen de manifiesto que el aluvial encontrado corresponde a un relleno escasamente permeable, es evidente que su excavación hasta los niveles indicados supone un problema constructivo a tener en cuenta.

De los diferentes métodos posibles para crear un recinto estanco que permita realizar la excavación (well-points, barreras de pozos y pantallas), se optó por diseñar una pantalla de mortero plástico aguas arriba, dejando a criterio del Contratista el método a utilizar en el cierre de aguas abajo.

La pantalla de mortero plástico situada al pie de aguas arriba y conectada con el núcleo de la presa mediante un manto impermeable, tiene una doble función; la primera permitir la excavación del aluvial hasta alcanzar la cota 12,00 msnm y, la segunda constituir una barrera impermeable a las filtraciones que se pudieran producir a través del aluvial del Río. Sobre esto último hay que añadir lo siguiente, si bien el aluvial de acuerdo con la investigación realizada, es escasamente permeable,

podieran darse por la disposición errática que supone un depósito de este tipo, vías de filtración aprovechando lentejones arenosos que pusieran en contacto el embalse con el pie de aguas abajo, esto hace que se justifique el diseño de una pantalla de mortero plástico.

Aguas abajo sería excesivo diseñar otra pantalla impermeable, dejándose a criterio del Contratista, de acuerdo en todo momento con la Fiscalización de las Obras, el utilizar una batería de pozos o una barrera de well-points para la fase de construcción.

Se ha de tener en cuenta, que la aportación del Río Grande en el momento de realizar las excavaciones del aluvial será pequeña (del orden de 500 lt/seg), y por tanto es fácil para el contratista entubar este caudal desde el cuenco disipador, alejándolo de la contra ataguía. Esto hará, lógicamente, que las filtraciones por el frente de aguas abajo sean menores.

Antes de iniciar la excavación, el contratista deberá haber realizado los siguientes pasos:

- a)** Construcción de la pantalla de mortero plástico
- b)** Ejecución de la batería de pozos o barrera de well-points aguas abajo.
- c)** Eliminación del agua acumulada en el recinto estanco delimitado por la pantalla, la barrera de bombeo y las laderas rocosas impermeables. Esta labor se efectuará mediante pozos repartidos sobre el área comprometida.
- d)** Excavación casi en seco, de los sedimentos aluviales blandos, después de estar operando suficientemente los pozos de achique.

e) Relleno del área excavada con materiales de núcleo o espaldones según corresponde. Durante la operación de excavación y relleno, seguirán operando los pozos ubicados en el perímetro del área comprometida, para garantizar así el freático bajo el piso de fundación y cota superior del relleno en cada momento.

Cimentación en Laderas

El criterio general adoptado para la cimentación bajo los espaldones en laderas ha sido eliminar los suelos orgánicos (con contenidos superiores al 5%) y las áreas de suelos deslizados superficialmente, en términos promedio se ha adoptado una profundidad de limpieza de 1 metro.

Para la cimentación del núcleo se ha eliminado el material coluvial, haciéndolo sobre la roca, aunque sin exigir que sea roca sana.

En la margen derecha, la profundidad de excavación varía entre 2,5 metros en coronación hasta 5,5 metros a nivel del cauce.

En la margen izquierda, la profundidad de la excavación siempre normal al talud, varía entre 3,00 metros en la parte alta hasta 8,00 metros a nivel del llano aluvial.

Descripción del Cuerpo de Presa

La presa es básicamente un terraplén zonificado con un núcleo impermeable ligeramente inclinado hacia aguas arriba, suficientemente ancho y protegido por transiciones de filtros y drenes que lo separan del espaldón de aguas abajo.

El núcleo enlaza mediante un manto impermeable con la pantalla de mortero – plástico, el filtro chimenea que separa el núcleo del espaldón de aguas abajo, se continúa en un manto filtro-dren que descarga en un pie drenaste.

La longitud total de la presa en coronación es de 276 metros.

La coronación de la presa se ha fijado, sin tener en cuenta la contraflecha, a la cota 69.50 msnm, siendo la anchura es 8 metros, el talud de aguas arriba presenta una inclinación de 3 en horizontal por 1 en vertical, en tanto que la inclinación del talud aguas abajo es de 2,4 en horizontal por 1 en vertical, con una berma inclinada de 8 metros de anchura.

El núcleo inclinado hacia aguas arriba, presenta un paramento vertical y el otro con inclinación 0,8 en horizontal por 1 en vertical. Se continúa mediante un manto impermeable hasta la pantalla del mortero plástico.

El espacio entre la ataguía y el pie de la presa se ha dispuesto como botadero, habiéndose prescrito que el material depositado hasta alcanzar la cota 36,00 msnm se compactará

El filtro vertical tiene un ancho mínimo de 3 metros por facilidad de construcción, la sección transversal del manto filtro-dren corresponde a 1 metro de dren protegido por medio metro de material filtrante a ambos lados.

Para absorber futuros asentamientos de los rellenos se ha dispuesto la rasante del camino de coronación con una contraflecha de 1,00 metro, que varía gradualmente desde los estribos hacia el centro de la presa.

La pantalla de mortero plástico, se sitúa a unos 120 metros aguas arriba del eje de la presa, claramente sesgada respecto del cauce, tiene una profundidad máxima prevista de 25 metros, con una longitud en cabeza de 136,50 metros y 0,60 metros de ancho.

Se eligió mortero plástico como material constitutivo de la pantalla, por ser de comportamiento y estructura similar al aluvial que lo confina.

Los valores obtenidos en las pruebas de admisión realizadas en los sondeos aconsejan, especialmente en algunos estratos impermeables, tratar la cimentación mediante una pantalla de inyecciones.

Por tal motivo se ha diseñado una pantalla de inyecciones monolineal, mediante taladros de 2" de diámetro distanciados 3 metros. La profundidad de la pantalla varía entre 25 y 35 metros. Desde el túnel de desvío se ha previsto inyectar un anillo de 10 metros de radio, conectado con la pantalla realizada desde la explanación del aliviadero.

La pantalla de inyecciones realizada en las laderas se continúa por ambos márgenes, aproximadamente a la cota 30,00 msnm hasta enlazar con la pantalla de mortero plástico. El túnel de toma queda dentro de la zona inyectada, por tanto no será necesario realizar ningún tratamiento desde él. Como la ejecución del túnel es posterior a la de la pantalla, sí en la zona de encuentro con la pantalla fuera necesario el uso de explosivos, habría que realizar en este caso un anillo de inyecciones similar al indicado para el túnel de desvío.

El tratamiento de la cimentación propuesto, que comprende: pantalla de mortero plástico, manto impermeable y pantalla de inyecciones, es suficiente de acuerdo con las características del cimiento y la altura de presa. Sin embargo, ya en explotación el embalse, de acuerdo con la información facilitada por los piezómetros, pudiera ser conveniente construir una batería de pozos de alivio al pie de la presa.

El aspecto más sobresaliente en el diseño de la presa de Río Grande, es el hecho de estar cimentada a nivel del cauce sobre un relleno aluvial de escasa capacidad portante. Es obligado, por tanto, dirigir el plan de instrumentación hacia la medición de asientos en la presa, tanto durante su construcción como a lo largo de la explotación de la obra. la presa, tanto durante su construcción como a lo largo de la explotación de la obra.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha diseñado el siguiente plan de instrumentación:

* Monolitos superficiales	25 Ud
* Piezómetros Casagrande	10 “
* Piezómetros de cuerda vibrante	35 “
* Células hidráulicas de nivel	20 “

* Inclínómetros	2 “
* Acelerógrafos	3 “
* Casetas terminales	3 “
* Dispositivo aforador	1 “

Los asientos que se produzcan en la presa se medirán mediante los monolitos superficiales, las células hidráulicas de nivel y los inclinómetros. Además, con estas últimas se podrán medir los movimientos en la cimentación.

Los piezómetros Casagrande y de cuerda vibrante permitirán conocer las presiones intersticiales en el relleno de la presa. El sistema de medición de sismos consiste en tres acelerógrafos conectados a un aparato registrador. Un acelerógrafo se ha situado en la coronación, otro a nivel del cauce y el tercero en la obra de acceso al túnel de toma.

La información facilitada por todo el sistema diseñado se recoge en tres casetas terminales de instrumentación situadas estratégicamente, por último el plan se completa con un dispositivo aforador de caudales que permita la medición de filtraciones al pie de la presa

ALIVIADERO

El aliviadero se desarrolla en el estribo izquierdo de la presa, parte de él sobre la plataforma creada en la explotación del préstamo, y el resto por el talud del estribo, se ha diseñado un aliviadero de labio fijo, sin compuertas, terminado en un cuenco disipador que da paso a un canal de restitución de los caudales al cauce del río.

El aliviadero se compone de, el canal de alimentación, vertedero, rápida con dos tramos, uno de pendiente suave y el otro siguiendo la ladera, cuenco disipador y canal de restitución.

El diseño de la rápida en su segundo tramo, donde se produce la intersección con el túnel del desagüe de fondo, y el del cuenco disipador, deben ser motivo de un ensayo hidráulico en modelo reducido totalmente necesario para llegar a definir las formas finales de estas estructuras.

Gran parte del aliviadero esta cimentado sobre arenisca de calidad geotécnica III, la parte inferior de la rápida y el cuenco disipador se ubican sobre alternancias de arenisca, limolita y lutita, también de calidad geotécnica III

El cuenco disipador se apoya en un 75% sobre material aluvial que, naturalmente, será excavado y sustituido por hormigón de relleno. El canal de restitución se desarrolla en material coluvial y aluvial.

Avenida de Diseño

El aliviadero, y los resguardos de la presa, se han diseñado para dejar pasar la avenida 50 por ciento de la avenida máxima probable (AMP).

El aguacero más desfavorable corresponde a un tiempo de duración de 48 horas, provocando una onda de avenida de 296 m /s de caudal punta y 38,66 Hm³ de volumen.

Análisis de Optimización

El análisis de optimización del aliviadero, ha consistido en apreciar la variación del caudal de salida y la sobreelevación en el embalse, en función del ancho del vertedero. Comparando los caudales de salida, que son los caudales de diseño del aliviadero, con las sobreelevaciones en el embalse, que significan sobrecostos por recrecimiento de la presa y pago de expropiaciones adicionales por inundación de una mayor superficie, se puede llegar, como ocurre en este caso, a elegir el aliviadero óptimo.

El análisis de optimización da los siguientes resultados ante la llegada al embalse de la avenida 0.5 AMP:

LONGITUD VERTEDERO	CAUDAL DE SALIDA	SOBREELEVACION EN EL EMBALSE
(m)	(m ³ /seg)	(m)
15	195	3,25
18	209	3,05
20	218	2,92

Estos resultados ponen de manifiesto que entre el aliviadero con 15 metros de longitud de vertido, y el que tiene 20 metros, existe solamente una diferencia de 23 m /seg en el caudal de diseño, diferencia que marca el sobrecoste de uno sobre el otro. Sin embargo, en la sobreelevación se produce una diferencia de 0,33 metros, lo que lleve consigo un sobrecoste por una mayor altura de presa y por la necesidad de expropiar una mayor superficie. Es este último concepto, con toda seguridad, el

mayor, justificándose el haber adoptado una longitud de vertedero de 20 metros. El caudal de diseño del aliviadero es de 231 m³/seg.

Canal de Alimentación

Se excavará en arenisca, a partir de la cota 69,50 msnm hasta alcanzar la cota 63,00 msnm, su longitud es de 135 metros con ancho variable de 26 a 60 metros, los taludes de excavación tienen una inclinación 1:1, no lleva revestimiento ya que la velocidad de aproximación del flujo es muy pequeño.

Vertedero

Es una estructura de control sin compuertas, con un perfil tipo Bradley, con el labio a la cota 65,00 msnm y 20 metros de longitud, el paramento aguas arriba tiene un talud 2 en horizontal por 3 en vertical, mejorando así su capacidad de descarga. La cimentación esta estructura se mejorará mediante un tratamiento de consolidación de 10 metros de profundidad.

Rápida de Descarga

La longitud del aliviadero desde el eje del vertedero hasta el final del cuenco disipador es de 187,50 metros, de esta longitud 137,50 metros pertenecen a la rápida de descarga; en la rápida de descarga se distinguen dos tramos, el primero, de 75 metros de longitud y pendiente 0,0285, seguido de un segundo tramo con fuerte pendiente, 1 en horizontal por 0,8 en vertical y 63 metros de longitud.

En el primer tramo la sección es rectangular de ancho variable entre 20 y 11 metros y con cajeros de 3 metros de altura, la solera va anclada con barras de 4 metros de longitud, 32 mm de diámetro y dispuestas cada 2,50 metros en ambos sentidos. Se ha diseñado un sistema de drenaje en solera, convencional, mediante tubos ranurados y tuberías colectoras.

En el segundo tramo la sección es también rectangular, con anchura constante de 11 metros, la solera y cajeros van anclados al terreno. El sistema de drenaje consiste en perforaciones verticales cada 5 metros, que terminan en el túnel del desagüe de fondo.

En la intersección de la rápida con la salida del túnel se ha diseñado un dispositivo de aducción de aire para impedir que puedan presentarse problemas de cavitación.

Cuenco Disipador

Corresponde al tipo II de los cuencos disipadores ensayados por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, tiene 45 metros de longitud, un ancho de 11 metros y altura de cajeros de 12,50 metros.

Durante el diseño definitivo de la solución elegida se hizo evidente que en la excavación necesaria para construir la rápida se originaban cortes muy altos al pie del relleno de la presa, lo que podría afectar a su estabilidad. Por esta razón se trasladó el cuenco hacia aguas abajo, resultando excavaciones más superficiales.

Esta última situación exige la limpieza del terreno aluvial hasta alcanzar la roca en parte de la cimentación, sustituyéndolo por un relleno de hormigón pobre.

Canal de Restitución

Tiene una longitud de 140 metros de sección trapecial con 16 metros en la base y taludes 1,5 en horizontal por 1 en vertical, siendo la pendiente longitudinal de 0,0018, toda la sección lleva una protección de escollera hasta la cota 30 msnm.

OBRA DE DESVÍO

La obra de desvío se encuentra situada en la ladera izquierda, aprovechando las condiciones morfológicas más favorables que brinda el estribo izquierdo frente al derecho.

Consta de ataguía, embocadura, túnel donde se encuentra la cámara de compuertas, cuenco disipador, canal de restitución y contraataguía.

Se analizó la posibilidad de sustituir el túnel por una galería en trinchera, pero las condiciones topográficas y geológicas no lo permiten, la concepción de la obra de desvío está encaminada a facilitar su transformación en desagüe de fondo, lo que supone un ahorro significativo en el coste de las obras.

El túnel se excavará en limolitas y lutitas, de calidad geotécnica entre II y III, buena a regular, pero que pueden dar problemas de expansividad, se ha considerado que se excavará con rozadora y se revestirá la excavación de hormigón proyectada con mallazo para evitar los efectos de la rápida meteorización de la roca y de la expansivita.

Del estudio se concluye que el efecto laminador de la ataguía influye en mayor grado que la capacidad del túnel, adoptando por consiguiente el diámetro funcionalmente mínimo, que fijamos en 3,00 metros, la coronación de la ataguía fue necesario elevarla hasta la cota 36,00 msnm.

La obra de desvío se ha diseñado para la avenida con período de retorno de 50 años, considerando un aguacero de 7 horas de duración, este aguacero es el que produce el máximo caudal de punta (415 m³/seg).

El aguacero más desfavorable sería el de 48 horas, con menor caudal punta y mayor volumen. Considerar este aguacero sería diseñar una obra temporal como es la ataguía para unas condiciones muy severas.

Por otra parte, la afluencia al embalse de un aguacero de larga duración permite tomar algunas medidas urgentes ante tal evento hidrológico, entre ellas, aumentar algún metro la altura de la ataguía

El caudal de diseño de la obra de desvío, se ha fijado en 45 m³/seg.

a) Ataguía

La ataguía de desvío es un dique de materiales sueltos con un núcleo impermeable de 3 metros de ancho protegido por filtro que lo separa del espaldón de aguas abajo, el núcleo impermeable está cimentado a 3 metros de profundidad del terreno natural en una zanja con taludes 2 en horizontal por 1 en vertical.

El filtro chimenea que separa el núcleo del espaldón de aguas abajo tiene un ancho de 1,5 metros y se continua en un manto de 0.3 metros de espesor que descarga en un pie drenante.

La longitud total de la ataguía en coronación es de 154 metros y su coronación se ha fijado a la cota 36,00 msnm, siendo el ancho de 5 metros. El talud de aguas arriba presenta una inclinación de 3 en horizontal por 1 en vertical con una protección de enrocado que se continua hasta la coronación con un ancho de 1.00 metro en sentido horizontal, en tanto que el talud de aguas abajo presenta una inclinación de 2.5 en horizontal por 1 en vertical, el dique tiene una altura próxima sobre cimientos de 14,50 metros y un volumen de rellenos de 39.107 m³.

b) Túnel de Desvío

El túnel de desvío está situado en la margen izquierda, tiene una longitud de 314,49 metros hasta la descarga en el cuenco disipador del aliviadero, la embocadura presenta una sección rectangular, con abocinamiento en tres lados que conduce a una sección cuadrada de 3 metros x 3 metros donde se han dispuesto las ranuras del ataguado, luego continúa una transición a circular, sobre la que se ha diseñado la estructura de entrada para el desagüe de fondo.

El túnel presenta dos tipos de secciones, una sección circular de 3 metros de diámetro hasta la cámara de compuertas y la otra sección en herradura de 3 metros de diámetro después de la cámara de compuertas.

La cámara de compuertas en su fase de desvío tiene sección circular con sus formas específicas para el futuro montaje de las compuertas, la galería de acceso si bien no constituye obra necesaria para realizar el desvío del río, es conveniente que se construya al mismo tiempo que el túnel.

Sin embargo, el pozo de acceso puede construirse posteriormente y así se ha reflejado en el programa de construcción de las obras.

c) Cuenco Disipador y Canal de Restitución

Ambas obras deberán construirse en la fase de desvío, en el apartado dedicado al aliviadero se hace una descripción sucinta de las mismas.

DESAGÜE DE FONDO

Cerrando el túnel de desvío en la embocadura mediante un tapón de hormigón y montando en la cámara de compuertas los equipos hidromecánicos, se transforma el desvío en desagüe de fondo.

El desagüe de fondo consta de estructura de alimentación, túnel en carga de sección circular, cámara de compuertas, túnel en lámina libre de sección en herradura, cuenco disipador y canal de restitución. Además, se incluye también en el desagüe de fondo el pozo y la galería de acceso hasta la cámara de compuertas.

a) Caudal de Diseño

El caudal máximo desaguado por las compuertas con el embalse a su máximo nivel de explotación (cota 65.00) es de 43,8 m³/seg, las dimensiones de las compuertas de tipo cuadrado son de 1,50 metros por 1,50 metros, lo que permiten que estando completamente abiertas se pueda vaciar el embalse hasta la cota 37,0 msnm en 36 días, suponiendo que el caudal medio afluente sea del orden de 1,5 m /seg.

b) Descripción de las Estructuras

Además de las descritas en líneas anteriores en lo que corresponde a el desagüe de fondo se tendrá las siguientes estructuras.

c) Estructura de Entrada

Se trata de una estructura de sección hexagonal con rejas, de 5 metros de altura y un conducto de 2,50 m. de diámetro que lo conecta con el túnel.

d) Cámara de Compuertas

En la cámara de compuertas se instalaran dos compuertas deslizantes testigo “Bureau” de 1.5 metros por 1.5 metros de sección, accionadas por servo motor. La compuerta de aguas arriba será la de seguridad y la de aguas abajo de regulación.

e) Acceso a la Cámara de Compuertas

Se compone de la caseta de acceso en la superficie sobre la cota 69,50 msnm, el pozo de acceso que tiene una sección circular de 3,5 metros de diámetro y 38 metros de profundidad y la galería de acceso de 52,25 metros de longitud, con la solera a la cota 31,50 msnm.

TOMAS PARA RIEGO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Consiste en una estructura de toma, túnel para alojamiento de las conducciones metálicas, conducción en zanja, cámara de rotura de carga, canal de alimentación al sifón y aliviadero lateral de seguridad.

La estructura de toma se encuentra en el embalse y se encuentra formada por la cámara para alojamiento de los equipos y por una torre de toma que permite captar a diferentes niveles. La ubicación de la obra en la margen derecha es debido a la dificultad de situarla en el estribo izquierdo por la existencia del desagüe de fondo y el aliviadero, principalmente, y además, por la conveniencia de que la obra de toma se encuentre en la misma margen que el canal de riego, evitando así el diseño de un sifón para cruzar el Río Grande.

El túnel se excavará en areniscas de grano generalmente fino y limolitas, de calidad geotécnica III-II, de regular a buena, e índice de Barton de 1 a 10, se ha supuesto que su excavación se hará con rozadora.

Se ha considerado revestir con hormigón proyectado inmediatamente después de excavar con el objeto de evitar los efectos de los cambios de humedad y de la meteorización de la roca.

a) Descripción de las Estructuras

La obra de toma para riego y abastecimiento, se encuentra situada en la margen derecha. El acceso se realiza por medio de una galería de sección rectangular abovedada de 260 metros de longitud por donde salen dos tuberías independientes de conducción para riego y abastecimiento.

La obra de toma para riego se compone de las siguientes partes:

- * Embocadura con rejilla a la cota 46,70 msnm

- * Conducción metálica de $\varnothing = 1.400$ mm y 352 metros de longitud, a partir del final de esta conducción metálica, la conducción se bifurca en dos ramales de 1000 mm de diámetro y 11 metros de longitud y descarga en la cámara de rotura a través de 2 válvulas Howell Bunger.

- * Cámara de rotura de carga

- * Canal de alimentación de 16,60 m de longitud con aliviadero lateral de labio fijo situado a la cota 48,51 msnm y de 10 metros de longitud. Este canal conduce el agua hasta la cabeza de entrada del primer sifón de la conducción principal.

- * Equipo hidromecánico compuesto de: una válvula mariposa de 1.400 mm de diámetro, una ventosa para conducción de $\varnothing = 1.400$ mm, dos válvulas mariposa de 1000 mm de diámetro, dos ventosas para $\varnothing = 1000$ mm y dos válvulas Howell Bunger de 100 mm de diámetro.

La estructura de toma para abastecimiento se ha diseñado con captación a tres niveles, permitiendo así derivar agua hacia la planta de tratamiento en las mejores condiciones de temperatura y contenido bacteriológico. Toma que se encuentra conformada por las siguientes partes.

* Estructura de toma con tres niveles de captación

- Cota toma superior	60,50 msnm
- Cota toma intermedia	55,50 msnm
- Cota toma inferior	46,40 msnm

* Conducción metálica de Ø 700 mm y 260,20 metros de longitud hasta el interior de la galería. Luego la conducción continúa hasta la planta de tratamiento con tubería de Ø 700 mm.

* Equipo hidromecánico compuerta de: 4 válvulas de compuerta de Ø 400 mm, dos válvulas de compuerta de Ø 700 mm, dos ventosas para Ø = 400 mm y una ventosa para Ø = 700 mm.

1.2 CENTRALES HIDROELECTRICAS CON SUS COMPONENTES Y CARACTERISTICAS DE LA CASA DE MAQUINA.

Considerando los diferentes tipos de centrales de generación, encontramos que las centrales eléctricas son más rentables, aunque su costo inicial de construcción es elevado, una vez puestas en funcionamiento, los gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos, siempre y cuando las condiciones pluviométricas medias del año sean plenamente favorables.

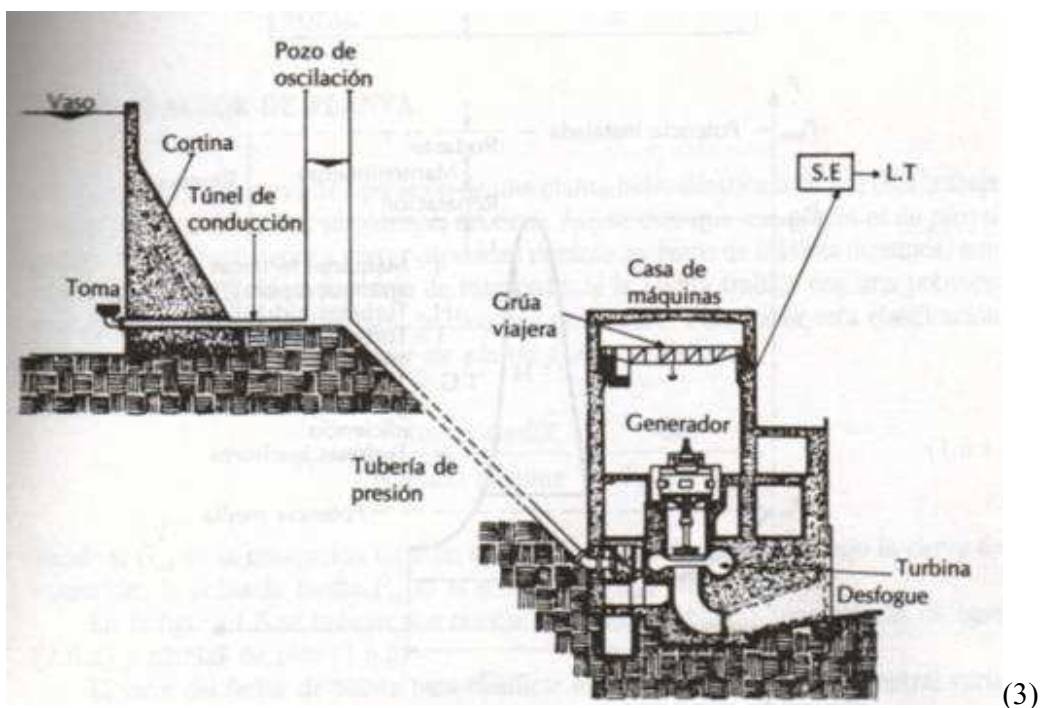
Cada central Hidroeléctrica constituye un proyecto distinto de los demás. La central se ha de adaptar a la configuración del terreno y a las características que ofrece el salto o caída de agua en la naturaleza, por lo que cada central hidroeléctrica será distinta la potencia instalada una de otra, no así una Central Térmica en donde su potencia instalada podrá coincidir una con otra independientemente de su lugar de instalación.

El lugar de emplazamiento, está totalmente sujeto a las características y distribución del terreno por el que fluye la corriente de agua que va a servir de materia prima, razón por la cual, en la mayoría de los casos, estas instalaciones están alejadas de las grandes zonas de consumo.

El agua es originariamente retenida o almacenada para posteriormente de manera controlada; y debido a la gran energía cinética desarrollada en su descenso, o actuando por presión; acciona directamente las turbinas hidráulicas, cuyos modelos y funcionamiento respectivos veremos en los puntos siguientes.

Una vez terminada esta breve descripción, toda nuestra atención se dedicara al estudio de los componentes hidráulicos de las centrales hidroeléctricas. Para llegar a conocer dichas instalaciones, en definitiva, saber cómo son, a nivel que nos hemos marcado tenemos que recurrir, imprescindiblemente al estudio de los distintos aspectos que las rodean y los componentes que las forman.

Previamente, estableceremos los elementos de una central de generación hidroeléctrica, que nos ayudara a entender el presenté tema.



Principales Elementos De Una Planta Hidroeléctrica

<https://imagen Planta Hidroelectricas>

COMPONENTES DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

Dentro de los componentes fundamentales, que forman una central hidroeléctrica, podemos dividirlos en dos grandes grupos:

En el primero constan todo tipo de obras, equipos etc., cuya labor podemos resumir diciendo que es la de almacenar y encauzar el agua en las debidas condiciones, para conseguir posteriormente una acción mecánica.

El segundo conjunto engloba los edificios, equipos, sistemas, etc., mediante los cuales, y después de las sucesivas transformaciones de la energía llegamos a obtener esta en forma de energía eléctrica.

El primero de los conjuntos establecidos se suele identificar como Presa-Embalse. El segundo, constituye la auténtica central, encontrándose así mismo, dentro de dicho conjunto las instalaciones conocidas como Posiciones de Grupo. Salida de Líneas, Subestación, etc.

Lo antes dicho, no implica que una misma central concurren todos y cada uno de los componentes mencionados. Si bien es cierto que, algunos de ellos, son imprescindibles, como es el caso de turbinas y alternadores. Otros sin embargo pueden intervenir o no, dependiendo principalmente de las características del asentamiento de la instalación.

Para formar, las centrales hidroeléctricas, se pueden realizar una serie de combinaciones de los componentes antes referidos, de acuerdo con las características del emplazamiento y de la potencia y rendimientos que se pretenden.

TIPOS DE TURBINAS HIDRAULICAS

Las turbinas hidráulicas con mejores resultados en la actualidad son las siguientes:

*Turbinas Pelton.

*Turbinas Francis.

*Turbinas Kaplan.

A continuación procedemos a describir las tres turbinas citadas anteriormente.

a) TURBINAS PELTON.

Son conocidas como turbinas de presión por ser esta constante en las zona del rodete de chorro libre, de impulsión, o de admisión parcial por ser atacada por el agua solo una parte de la periferia del rodete. Así mismo entran en la clasificación de turbinas tangenciales y turbinas de acción. Entre las principales características tenemos:

*Efecto único de velocidad.*Sentido de proyección del chorro de agua y sentido de giro del rodete coinciden.

*La presión de agua no varía en los alabes.

*Rodete no inundado.

Su utilización es idónea en salto de gran altura (alrededor de 200m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta 10 m³/s aproximadamente), en la represa de Paute esta entre 18 y 20 m³/s aproximadamente.

Por razones hidroneumáticas, y por sencillez de construcción, son de buen rendimiento para amplios márgenes de caudal (entre 30% y 100% del caudal máximo). Por ello se colocan pocas unidades en cada central que requieren turbinas de estas características.

Pueden ser instaladas con el eje en posición vertical u horizontal, siendo esta última disposición la más adecuada. Actualmente la central hidroeléctrica "Hidropaute" posee turbinas Peltón para la generación de energía eléctrica. Estas forman los grupos Turbinas generador Peltón de alta potencia.



TURBINA PELTON

(4)

<https://imagen de turbinas Pelton>

b) TURBINAS FRANCIS

También conocidas como turbinas de sobre presión por se variable la presión en la zonas del rodete, o de admisión total ya que este se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conoce como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

Para su funcionamiento el agua a presión es dirigida asía una cámara espiral en forma de caracol, donde el caudal se reparte por toda la periferia del rodete. Sus alabes fijos canalizan las líneas del flujo del agua. Constan de un anillo distribuidor (segunda fila de alabes móviles o palas directrices entre la hilera de alabes fijos y el rodete). El distribuidor regula el caudal de la turbina sin que las venas liquidas sufran desviaciones bruscas o contracciones (rendimiento elevado incluso con cargas reducidas). Sus alabes móviles pueden girar alrededor de un eje paralelo al eje de la máquina y el movimiento de cierre es simultaneo para todos ellos. Parte de la energía potencial gravitatoria del agua embalsada se convierte en energía cinética. La energía cinética aumenta al pasar por las palas fijas del ante-distribuidor y por las palas móviles del distribuidor provocando el giro del rodete.

Su campo de aplicación es muy extenso debido al avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 m³/seg aproximadamente)

En función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto, se puede realizar la siguiente clasificación.

Turbinas Francis lenta.- Para saltos de gran altura (alrededor de 200m o más).

Turbinas Francis Normal.- Indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20m).

Turbinas Francis Rápidas y extra-rápidas.- apropiada a saltos de pequeña altura (inferiores a 20m).

Las turbinas Francis, son de rendimiento óptimo, entre unos determinados márgenes (para 60% y 100% del caudal máximo), siendo una de las razones por las que se disponen varias unidades en cada central, al objeto de que ninguna trabajen. Individualmente, por debajo de valores del 60% de la carga total.

Pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical, siendo esta última a disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia.

TURBINAS FRANCIS



(5)

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto.

Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas.

Las grandes turbinas Francis se diseñan de forma individual para cada emplazamiento, a efectos de lograr la máxima eficiencia posible, habitualmente más del 90%. Son muy costosas de diseñar, fabricar e instalar, pero pueden funcionar durante décadas.

[https://imagen de turbinas Francis.](https://imagen de turbinas Francis)

Además de para la producción de electricidad, pueden usarse para el bombeo y almacenamiento hidroeléctrico, donde un embalse superior se llena mediante la turbina (en este caso funcionando como bomba) durante los períodos de baja demanda eléctrica, y luego se usa como turbina para generar energía durante los períodos de alta demanda eléctrica.

Se fabrican micro turbinas Francis baratas para la producción individual de energía para saltos mínimos de 52 metros.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas de la turbina Francis o también llamada VGR

- Su diseño hidrodinámico permite bajas pérdidas hidráulicas, por lo cual se garantiza un alto rendimiento.
- Su diseño es robusto, de tal modo se obtienen décadas de uso bajo un costo de mantenimiento menor con respecto a otras turbinas.
- Junto a sus pequeñas dimensiones, con lo cual la turbina puede ser instalada en espacios con limitaciones físicas también permiten altas velocidades de giro.
- Junto a la tecnología y a nuevos materiales, las nuevas turbinas requieren cada vez menos mantenimiento.¹

DESVENTAJAS

- No es recomendado para altura mayor de 800 m, por las presiones existentes en los sellos de la turbina.
- Hay que controlar el comportamiento de la cavitación.
- No es la mejor opción para utilizar frente a grandes variaciones de caudal, por lo que se debe tratar de mantener un flujo de caudal constante previsto, antes de la instalación

c) TURBINAS KAPLAN

El principio de funcionamiento consiste en que el agua ingresa al rodete desde una cámara espiral con distribuidor regulable similar al de las turbinas Francis, pero los alabes están a una altura menor, el flujo es prácticamente axial. Tienen un ángulo de incidencia óptimo de las venas líquidas para el caudal variable, debido a la inclinación de los alabes del rodete. Realizan un movimiento simultáneo de todas las palas, para lo cual poseen un complicado sistema de bielas.

Son turbinas de admisión total, al igual que las turbinas Francis, incluidas así mismo en la clasificación de turbinas de reacción. Las características constructivas y de funcionamiento, son similares entre ambos tipos. Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50m. y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de 15 m³/s en adelante).

Permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, obteniéndose buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal. A igualdad de potencia, las turbinas Kaplan son menos luminosas que las turbinas Francis. Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, si bien se prestan para ser colocadas de forma horizontal o inclinada.

Los problemas con el golpe de ariete ocasionan fuertes impactos sobre las superficies que soportan fuertes variaciones de presión debidas a la interrupción rápida de una corriente que circula a cierta velocidad a través de un conducto. Además disminuye bruscamente la potencia demandada al generador. Ocasionan deformaciones y vibraciones (chimenea de equilibrio y accionamiento lento y progresivo de válvulas).

También enfrenta problema de cavitación, provocados por reducciones de presión cuando una masa líquida se mueve a gran velocidad.; la corriente arrastra estas cavidades, las cuales aumentan de tamaño, hasta llegar a zonas de alta presión, donde se condensa el vapor llegando a gran presión. Estos problemas reducen la velocidad del alternador, se producen ruidos y vibraciones en las zonas de contacto con el líquido.

Un montaje característico de este tipo de turbinas, conjuntamente con el alternador constituyen los llamados grupos- bulbo, propios de las centrales mareomotrices; o los grupos-pozo, utilizados para el máximo aprovechamiento de las corrientes de agua con muy poco salto. En ambas disposiciones la cámara y el tubo de aspiración

constituye un solo conducto, pudiendo estar situado el eje del grupo en posición horizontal o inclinada.

Las turbinas de reacción Francis y Kaplan, poseen las siguientes características.

Tienen efecto conjunto de velocidad y presión.

Sentido de proyección del chorro de agua y sentido de giro del rodete no coinciden.

Mayor presión del agua a la entrada que a la salida.

Rodete inundado.



TURBINA KAPLAN

(6)

<https://imagen de turbinas Kaplan.>

Las turbinas cabe indicar que pueden ser de dos tipos principalmente.

Turbina de Impulso.- En estas el agua que entra por las boquillas de inyección se inyecta directamente a una serie de álabes localizados en la periférica de la rueda polar, de manera que la energía de la presión del agua se convierte totalmente en energía cinética. La mayoría de las turbinas de impulso son de ejes horizontales y se utilizan en grandes alturas mayores a 400 mts. La turbina PELTON es de este tipo y su velocidad nominal esta entre 600 a 1500 RPMs.

Turbina de Reacción.- En este tipo el agua entra alrededor de todas la periferia de la rueda polar, permaneciendo todo el tiempo lleno de agua, que actúa sobre la rueda y que se encuentra a una presión mayor que la atmosférica. Las turbinas de reacción pueden ser de eje horizontal o vertical, correspondiendo este último caso a los de mayor potencia. Por lo general se usan para caídas de agua medias y bajas. Dentro de las turbinas de reacción se tienen las turbinas FRANCIS, KAPLAN, su velocidad nominal está entre los 75 a 300 RPMs.

CASA DE MÁQUINAS

Es la construcción donde se ubican las máquinas y los elementos de regulación y comando. Puede ser exterior o subterráneo y posee generalmente dos niveles que son la planta o piso de generadores y planta baja o piso de turbina. En el piso de generadores se encuentran estos aparatos con sus reguladores de velocidad y en la

parte superior de este nivel se instala generalmente una grúa viajera que se utiliza durante el montaje y también para hacer reparaciones, tanto de los generadores como de los rodets. Por esta última razón el techo de la casa de máquinas debe ser suficientemente alto para que la grúa pueda transportar libremente los rotores o los rodets por encima de los que están ya colocados.

En el piso de las turbinas se encuentra la espiral de alimentación, el distribuidor y el rodete de las máquinas. Las dimensiones de la casa de las máquinas están estrechamente relacionadas con el piso de turbina a utilizar.

La casa de maquina consiste del edificio principal de un desarrollo hidroeléctrico, en donde tiene lugar la conversión de la energía del agua en energía eléctrica. El arreglo o disposición en la casa de maquina debe ser de tal forma que proporcione suficiente espacio alrededor de algunos equipos como turbinas, generadores, gobernadores, válvulas, bombas, etc., para facilitar de esta manera su montaje, desmantelamiento y reparación.

Algunos de los elementos más importantes que se encuentran en la casa de maquina son los siguientes.

- Turbina
- Generadores
- Válvula de admisión y alivio

- Válvula de compuertas
- Equipo de medición de flujo
- Ducto de aires
- Bomba de circulación de agua
- Transformadores eléctricos
- Tableros e instrumentos
- Barra de baja y alta tensión
- Interruptores de potencia
- Grúas viajeras
- Oficinas y talleres

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA CENTRAL HIDRÁULICA

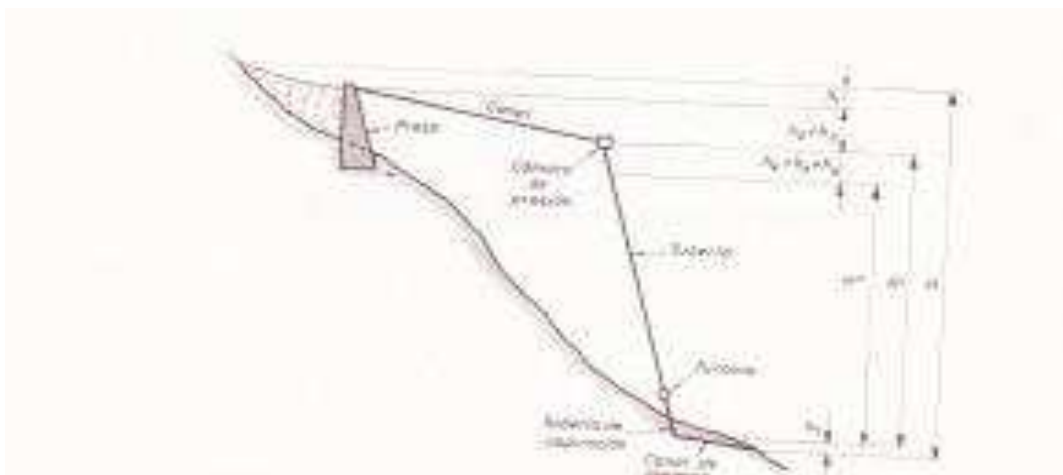
Altura del salto aprovechable.

En las centrales hidráulicas no se aprovecha toda la altura del salto; existen pérdidas de altura por diversa causas que estudiaremos seguidamente, de lo que resulta que, en todos los casos, la altura disponible no corresponde a la altura total. Llamaremos salto total a la diferencia de las cotas máxima y mínima del salto correspondiente, respectivamente, al sitio donde se inicia el salto y al sitio donde se realiza el desfogue; salto bruto o disponible a la diferencia de niveles de agua entre la cámara de presión y el final del tubo de aspiración; salto neto al efectivamente utilizado por la turbinas.

De acuerdo con esto y, como hemos dicho anteriormente, vamos a estudiar las pérdidas de altura que se producen en un salto de agua, con ayuda de la figura 37,

donde se han representado gráficamente los saltos total, bruto y neto; después, deduciremos las expresiones correspondiente a dichos saltos total, broto y neto.

Ante todo, la superficie de las aguas remansadas por la presa no es horizontal, sino que forma una curva cuya pendiente va disminuyendo a medida que nos acercamos a la presa. De manera que, desde la superficie del agua en contacto con la presa, a la superficie de



aguas en el enlace de la curva de remanso con la corriente primitiva, hay un desnivel, que se pierde en el total del salto; a este nivel lo llamaremos *perdida debida al remanso* que indicaremos por h_1 .

Desde la presa, el agua entra en el canal de derivación; y al pasar por todos los elementos constructivos de este, sufre pérdidas de nivel, variables según las circunstancias de pendiente, sección el contacto con el agua, rugosidad de las paredes, etc..., tendremos por lo tanto, una pérdida en el canal, que denominaremos h_2 .

En la cámara de presión (o en su caso, en la chimenea de equilibrio), se dispone una rejilla para detener los cuerpos flotantes e impedir su entrada en la tubería de presión; al atravesar esta rejilla, el agua sufre un rozamiento que equivale a una pérdida de altura y a la que llamaremos pérdida en la cámara de presión, representada por h_3 .

Desde la cámara de presión, el agua entra en la tubería forzada y en ésta se producen nuevas pérdidas por rozamiento, cambio de sección cambio de dirección, etc..., englobada bajo la denominación general de pérdida en la tubería y representada por h_4 .

Al final de la tubería de presión, el agua entra en las turbinas que, como toda máquina motriz, tiene un rendimiento inferior a la unidad, es decir que ellas se producen pérdidas de potencia debido a los rozamientos, mal aprovechamiento de la energía cinética del agua, etc. Englobamos todo con el nombre de pérdidas en la turbina, representada por h_5 .

También en el tubo de aspiración de turbina existen pérdidas por rozamientos y otras causas, a las que denominaremos, en general, pérdida en el tubo de aspiración y representaremos por h_6 .

Finalmente en el canal de desagüe y por causas parecidas, hay una pérdida en el canal de desagüe representado por h_7 .

En resumen tendremos:

h_1 = pérdida debida al remanso.

h_2 = pérdida en el canal de derivación.

h_3 = pérdida en la cámara de presión.

h_4 = pérdida en la tubería de presión.

h_5 = pérdida en la turbina.

h_6 = pérdida en el tubo de aspiración.

h_7 = pérdida en el canal de desagüe.

Ahora, llamaremos:

H = altura del salto total.

H' = altura del salto bruto.

H'' = altura de salto neto.

De acuerdo con lo dicho, tendremos:

Altura de salto bruto.

$$H' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_7)$$

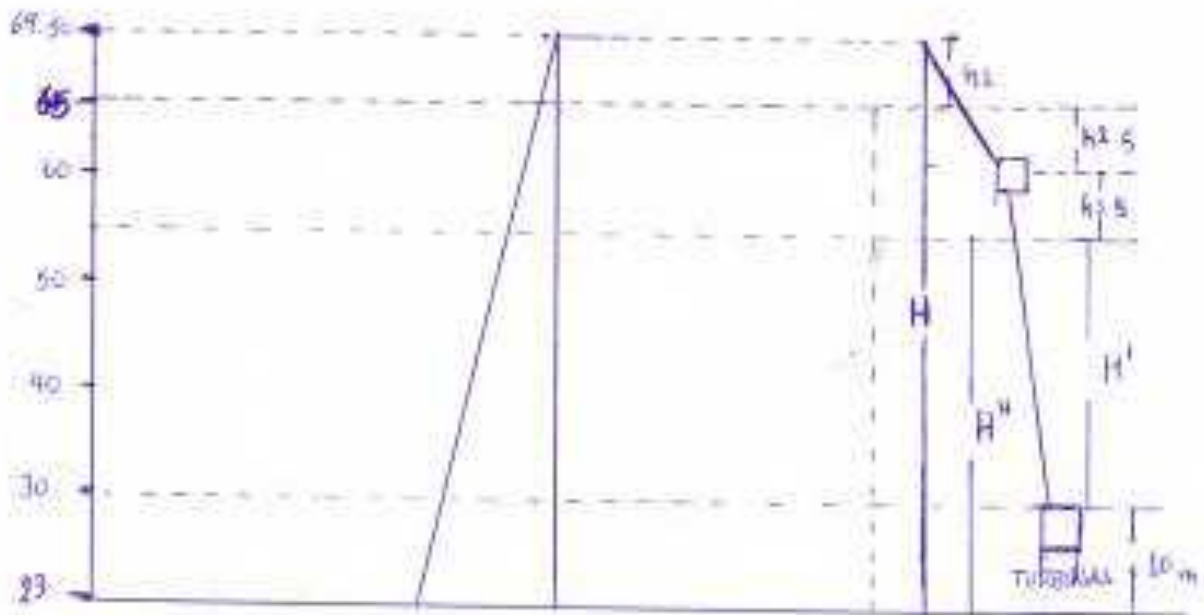
es decir que consideramos el salto bruto como el que disponemos desde la cámara de presión hasta el final del tubo de aspiración.

Altura de salto neto.

$$H'' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7)$$

o bien, en función del salto bruto

$$H'' = H' - (h_4 + h_5 + h_6)$$



$$H' = H - (h_1 + h_2 + h_3)$$

$$H' = 33,50 - (0,15 + 5 + 5)$$

$$H' = 23,35$$

$$P_R = 6,15 \times 16,6 \text{ m}^3/\text{s} \times 23,35$$

$$P_R = 2.384 \text{ KW}$$

Potencia de un salto de agua.

La potencia de un salto de agua podemos considerarla bajo dos aspectos:

Por una parte, es el trabajo realizado durante un segundo por una masa de agua o caudal que pasa de una posición superior a otra posición inferior.

Por otra parte, es la energía correspondiente a la misma unidad de tiempo, de la velocidad que el agua puede adquirir en las turbinas como consecuencias de la presión a que está sometida en ellas.

Si llamamos Q al caudal en metros cúbicos por segundo de un salto de agua, vendrá expresada por:

$$P_T = 1.000 Q H' \text{ kilogramos / segundo}$$

Para deducir esta fórmula, recordemos que la energía potencial de una masa de 9 litros de agua h m de altura esta expresada por:

$$e = qh \text{ kilográmetros}$$

y como

$$1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ litros}$$

si expresamos la masa o caudal Q en metros cúbicos, esta energía vale

$$e = 1.000 Q h \text{ kilográmetros}$$

aplicándolo a nuestro caso y recordando que la potencia no es más que el trabajo por segundo, tenemos finalmente

$$P_T = 1.000 Q H' \text{ kilográmetros / segundo}$$

y, si expresamos la potencia en CV

$$P_T = \frac{1.000QH'}{75} \text{ CV}$$

Anteriormente, hemos definido el salto neto, que se obtiene restando del salto bruto ciertas pérdidas de cargas. Las turbinas no aprovechan totalmente el salto bruto y el rendimiento de la turbina (incluidas las pérdidas en la tubería forzadas y en el tubo de aspiración), vendrá expresado por

$$\eta_T = \frac{H'}{H''}$$

Por lo tanto, la potencia en el eje del generador eléctrico es

$$P_G = \frac{1.000QH'}{75} n_T \text{ CV}$$

La potencia eléctrica suministrada por el generador dependerá así mismo, del rendimiento de este generador, que llamaremos n_G . Esta potencia será, por lo tanto

$$P_G = \frac{1.000QH'}{75} n_T n_G \text{ CV}$$

Si admitimos como primera aproximación.

$$n_T = 0,82$$

$$n_G = 0,92$$

Tendremos que el rendimiento global del grupo turbina-generator vale

$$n = n_T n_G = 0,82 \times 0,92 = 0,75$$

y, por lo tanto la potencia eléctrica disponible en los bornes del generador es

$$P_T = \frac{1.000QH'}{75} 0,75 \approx 10 QH' \text{ CV}$$

Recordando que

$$1 \text{ KW} = 1,34 \text{ CV}$$

la expresión, en kilovatios de la potencia será:

$$P = \frac{10}{1,34} QH' = 7,4 QH' \text{ KW}$$

Para deducir la potencia eléctrica que se pueda suministrar a los consumidores, hay que tener en cuenta, además, las pérdidas eléctricas en los transformadores elevadores de la central, en las líneas de transmisión de la energía eléctrica y en los transformadores reductores de las subestaciones transformadoras. Como primera aproximación, se pueden admitirlos siguientes valores:

Rendimiento de las turbinas $n_T = 0,82$

Rendimiento de los generadores $n_G = 0,92$

Rendimiento de los transformadores-elevadores $n_I = 0,96$

Rendimiento de las líneas de transmisión $n_{II} = 0,90$

Rendimiento de los transformadores-reductores $n_{III} = 0,96$

El rendimiento global del conjunto es:

$$\begin{aligned} n &= n_T \cdot n_G \cdot n_I \cdot n_{II} \cdot n_{III} \\ &= 0,82 \times 0,92 \times 0,96 \times 0,90 \times 0,96 = 0,62 \end{aligned}$$

Y la potencia disponible en la red consumidora

$$P_R = \frac{1.000 \times Q \times H' \times 0,62}{1,34 \times 75} = 6,15 \text{ QH'}$$

Características de carga de una Central Hidráulica.

Para la determinación de la capacidad de una central hidráulica, se han de tener en cuenta muchos factores. El problema es, en sí, indeterminado; y para encontrar la mejor solución se han de comparar y analizar muchos datos, algunos de los cuales tampoco se pueden determinar, y sobre ello hay que estudiar hipótesis verosímiles. Hay que tener en cuenta, entre otras cosas:

- a) Exigencias presentes y futuras del mercado.
- b) Salto utilizable.
- c) Caudal del río en los diferentes años y en las diferentes épocas del año.
- d) Posibilidad de la regulación anual, semanal y diaria.
- e) Coste de la obras con y sin regulación.
- f) Coste de la energía producida y comparación con el valor que puede obtenerse de su venta.
- g) Conveniencia de interconexión con otras centrales.
- h) Necesidad o conveniencia de centrales auxiliares.
- i) Importancia de los picos en las curvas de consumo.

Como puede apreciarse, el problema resulta bastante complejo. En lo que hace referencia a las características generales de carga, remitimos al lector al capítulo correspondiente. Recordemos, sin embargo la definición de algunos conceptos relacionados con la carga de las centrales eléctricas:

Factor de carga $m = \frac{\text{Potencia media en kVA}}{\text{Potencia máxima en kVA}}$

Factor de demanda $a = \frac{\text{Demanda máxima en kVA}}{\text{Potencia instalada en kVA}}$

Factor de instalación $b = \frac{\text{Potencia total de la central kVA}}{\text{Potencia instalada en kVA}}$

Recordemos también que se llama potencia instalada o carga instalada a la suma de las potencias nominales de todos los receptores de energía con la red que se alimenta la central.

Además, y en lo que hace referencia a las centrales hidroeléctricas, definiremos el factor de utilización hidráulica anual a la relación entre el volumen de agua empleado útilmente en las turbinas, y el total que durante el año puede suministrar el río. Es decir, la relación

$$f = \frac{\text{Volumen de agua anual en las turbinas en m}^3}{\text{Volumen de agua anual total en m}^3}$$

Naturalmente, lo ideal sería que la relación anterior fuese la unidad, es decir que toda el agua produjese energía útil. Pero esto no es posible casi nunca pues las épocas de mayor caudal no siempre coinciden con la épocas de mayor demanda de energía y, además, en las riadas el agua no tienen utilización práctica. Parece lógico deducir que, para aumentar este factor se puede embalsar el agua sobrante en Las épocas de menor consumo y tenerla disponible para cuando la demanda sea mayor. Es decir,

debe realizarse una regulación del aprovechamiento hidráulico; esta regulación puede hacerse de diferentes formas:

Regulación anual.

Se embalsa el caudal sobrante en riadas y épocas de abundancia para cederlo en las épocas de escases. Generalmente la regulación anual se realza por medio de grandes pantanos o embalse de cabeceras situados en el curso superior de los ríos, que almacenan el agua durante la primavera, en la época de deshielo, para cederla durante los estiajes; muchas veces, estos embalse de cabecera regulan el suministro anual de varias centrales que aprovechan las aguas del rio. Casi siempre, estos embalses son artificiales; pero, en algunas ocasiones, se aprovechan los lagos de montaña como depósito de regulación anual. Conectando estos lagos entre si y trasvasando después el agua a un canal de derivación.

Regulación semanal.

Se almacena el agua sobrante durante la semana, especialmente en los domingos y días festivos, para cederla los demás días; muchas centrales hidroeléctricas disponen de embalses de regulación semanal.

Regulación diaria.

Tiene por objeto coordinar durante el día, el caudal disponible para las necesidades de consumo en este tiempo. La regulación diaria se conoce muchas veces con el nombre ingles de (pondage).

Como hemos indicado, no se pueden prever las necesidades de consumo con absoluta certeza. Por lo tanto los aprovechamientos hidráulicos tienen que proyectarse de forma que sean posibles futuras ampliaciones y obras de regulación para poder

lograr, cuando sea preciso, un adecuado acoplamiento entre las disponibilidades hidráulicas y las necesidades del consumo.

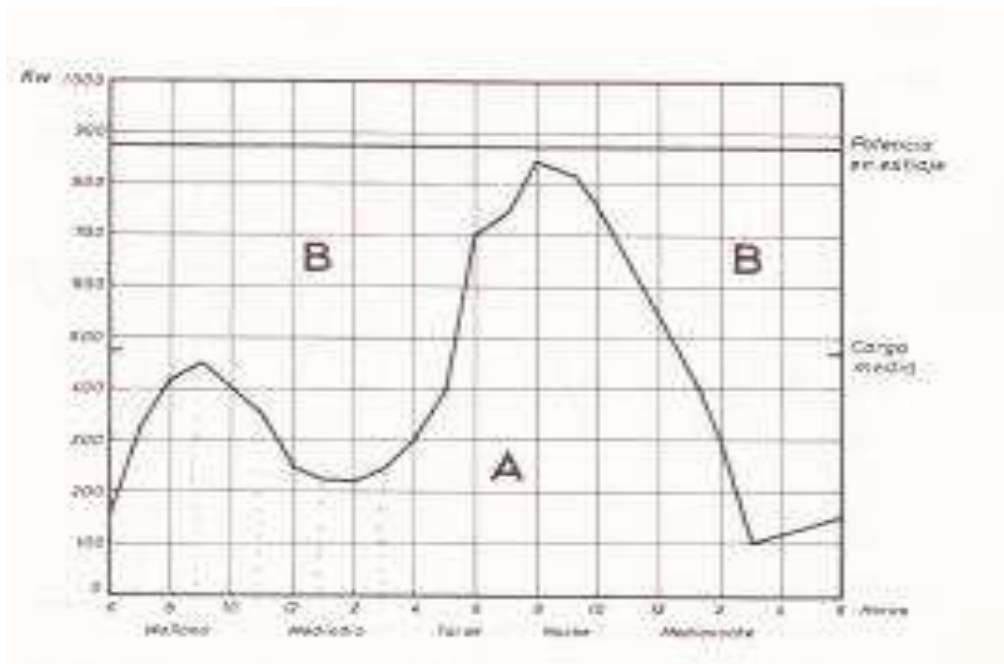
Sería un grave error disponer las obras en una primera etapa de construcción para servir necesidades en presentarse varios años. Conviene prever de antemano estas futuras necesidades, escalonando las obras de forma que el capital invertido resulte rentable a medida que vaya empleándose.

Para determinar previamente a capacidad de las obras de un aprovechamiento hidroeléctrico, pueden seguirse diferentes criterios, algunos de los cuales vamos a estudiar:

1) Solución.

Abastecimiento del mercado solo con energía hidráulica conseguida sin regulación. Este caso está representado en la figura 38. La energía que se puede suministrar y para la que deben prepararse las obras es la que se puede disponer de una forma cierta durante los 365 días al año, es decir, la correspondiente a la época de máximo estiaje; o durante 355 días si, como se hace comúnmente, se prescinde de los diez días de caudal mínimo.

Con esta energía solo puede abastecerse necesidades que alcancen un máximo igual o menor de energía que el que corresponde al que puede producirse durante el estiaje. Aun en este caso, y como puede apreciarse en la figura 38, resultaría una gran proporción de energía desaprovechada, por lo que esta solución resulta antieconómica.

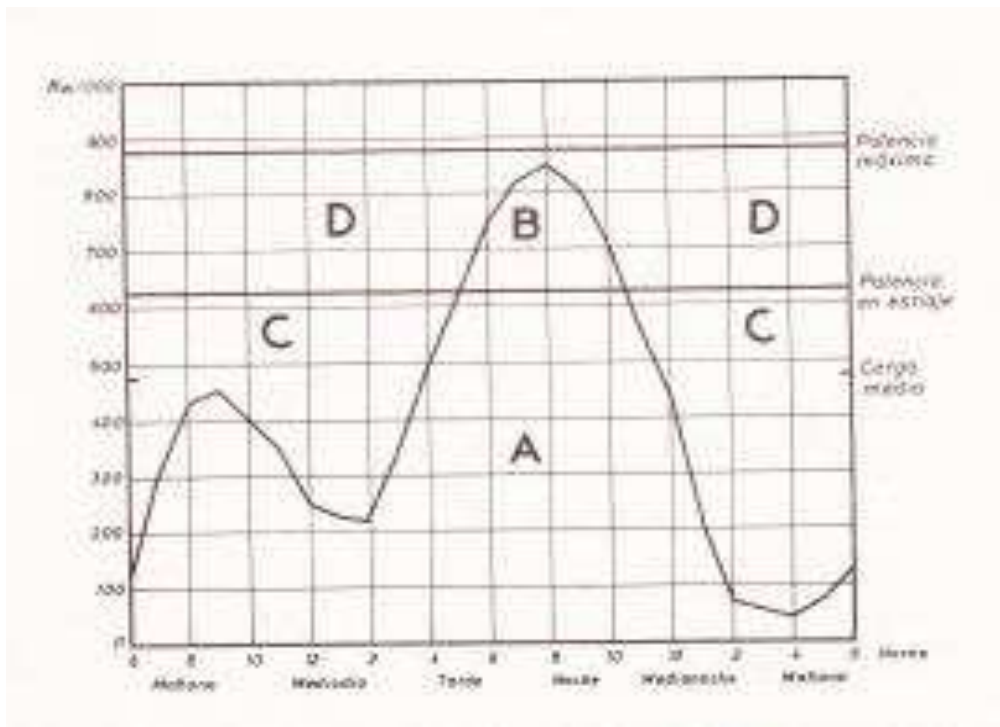


2) Solución.

Capacidad de las obras e instalaciones ajustadas a un caudal mayor que el disponible durante el estiaje (véase figura 39). Por lo tanto, este mayor caudal solamente podremos aprovecharlo en parte de los días del año. En este caso, si se emplea únicamente energía hidráulica, en las épocas de escasez de agua abra que restringir el servicio y, al no poder garantizar la continuidad de este, la energía que se venda en estas condiciones, cuando la naturaleza de las industria o las fuentes auxiliares de energía que tenga los consumidores lo permitan, ha de ser a expensas del coste unitario; el precio de la energía continua. En este caso también se desaprovecha una buena parte de la energía, como puede apreciarse en la figura 39.

3) Solución.

Capacidad de referencia como en el caso anterior pero se tiende a una producción uniforme durante todo el año,

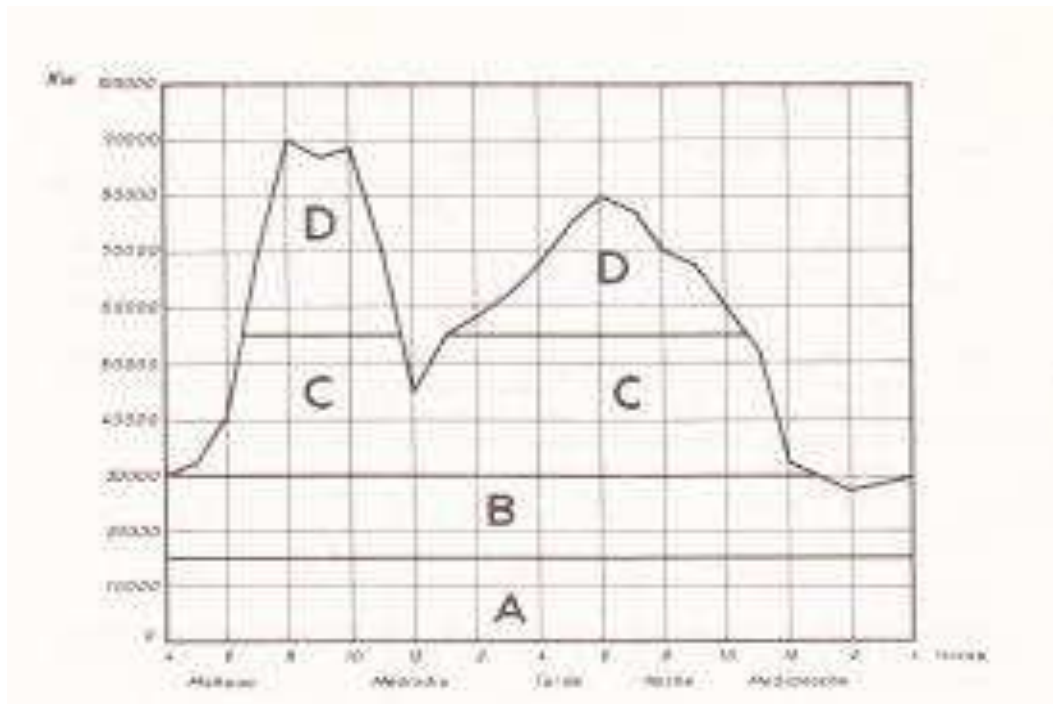


por compensación de las faltas del estiaje con la aportación de energía procedente de otros saltos de distintos régimen.

Por ejemplo, se combina una central en un río invernal (estiaje en verano), con otra en un río estival (estiaje en invierno).

Es conveniente también coordinar el funcionamiento de centrales que, además de estas diferencias de régimen, tengan distintas características de salto: es decir, saltos de mucha altura en la cabecera de la cuenca con salto de poca altura en el valle. De esta forma, cuando disminuye la altura de estos en riada, aumenta la potencia hidráulica de aquellos.

Para suministrar energía de acuerdo con este criterio se debe aprovechar convenientemente las características de cada uno de los saltos. En el ejemplo de la figura 40, si tenemos combinadas 4 centrales, que denominamos A, B, C, D, siendo



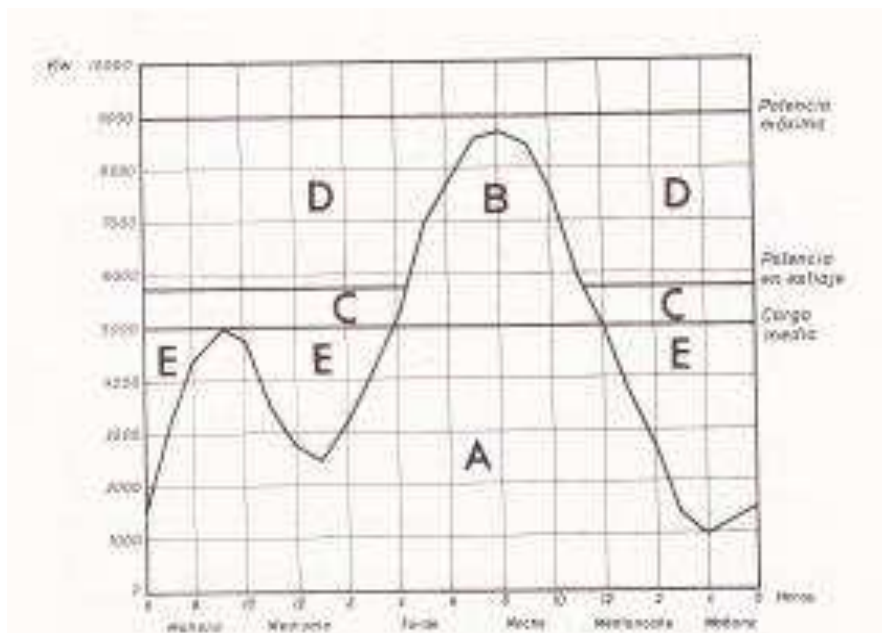
A y B de escasa altura de salto y gran caudal y C y D de gran altura de salto y pequeño caudal se habrá de tener en cuenta que la regulación hidráulica es muy fácil y más económica en las centrales C y D. Por lo tanto, el funcionamiento adecuado será el indicado de la figura 40 es decir que las centrales A y B de gran caudal y poca altura marchen de modo continuo y aq la mayor carga posible, mientras que las centrales C y D de pequeño caudal y gran altura, funcionen de forma intermitente, como central de reserva aprovechando su fácil regulación.

4) Solución.

Compensación del déficit de estiaje con una central térmica auxiliar situada junto al salto o en el centro principal de consumo de energía, o bien en una cuenca o carbones de baja calidad cuyo transporte resultaría antieconómico (figura 41).

Si se sitúa la central térmica junto al salto de agua seda más unidad al conjunto de la explotación; pero esta solución ideal solo es posible raramente pues en general el transporte grava el precio del combustible. Cuando no existe más que un centro de consumo o casi toda la energía se destina a ese centro, muchas veces resulta conveniente situar la central térmica en dicho centro.

Esta solución de central térmica auxiliar puede resultar muy ventajosa pues si bien la energía producida por medios térmicos resulta más cara que la hidráulica, existe la gran ventaja que puede garantizarse la continuidad del servicio; toda la energía puede facturarse al mismo precio y, además, hay que tener en cuenta que la central térmica solo funcionara



de forma intermitente, es decir cuando la central hidráulica no pueda cubrir las necesidades del consumo.

La presencia de la central térmica proporciona una amplia flexibilidad al suministro de energía eléctrica; en efecto, esta central puede cumplir las siguientes funciones:

- a) Suministrar energía en casos de interrupción de la central hidráulica, especialmente por causa de la línea de transmisión.
- b) Para llevar parte de la carga en los picos del gráfico de carga, cuando la energía hidroeléctrica no sea suficiente.
- c) Para suplir la falta de energía hidroeléctrica en la época de estiaje

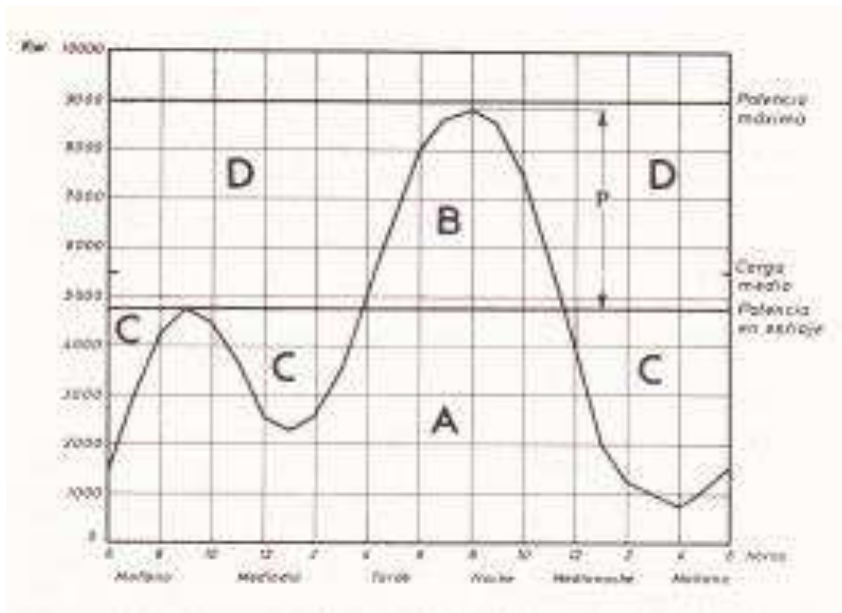
- d) Para facilitar el desarrollo del mercado mientras se construye una central hidroeléctrica y preparar una carga más completa para esta durante el principio de la explotación.

Como puede apreciarse en la figura 41, la central térmica suministra la parte de energía correspondiente al pico diario del gráfico de carga. La magnitud **P** representa la potencia mínima necesaria, de la central térmica de reserva. Sin embargo, puede apreciarse en la citada figura que en las horas de mínimo consumo se desaprovecha energía hidráulica y falta esta energía en las horas de máximo consumo; por lo tanto, no es todavía perfecto el acoplamiento de la energía potencial hidráulica a las necesidades del consumo.

5) Solución.

Compensación del déficit de estiaje con un depósito de regulación diaria. Este caso está representado en la figura 42. El gráfico de carga tiene unas horas de máximo al que no alcanza la potencia de la central con el caudal de estiaje; pero en las horas de mínimo consumo, la energía instantánea de este caudal es mayor que la requerida por la demanda. O sea, que la superficie comprendida entre la horizontal que indica la potencia en estiaje, en la figura 42 y la parte del gráfico de carga que queda por debajo de dicha horizontal, es mayor que la superficie situada encima de esta horizontal. Es decir, y resumiendo, que la línea de potencia de estiaje quede por encima de la horizontal de carga media.

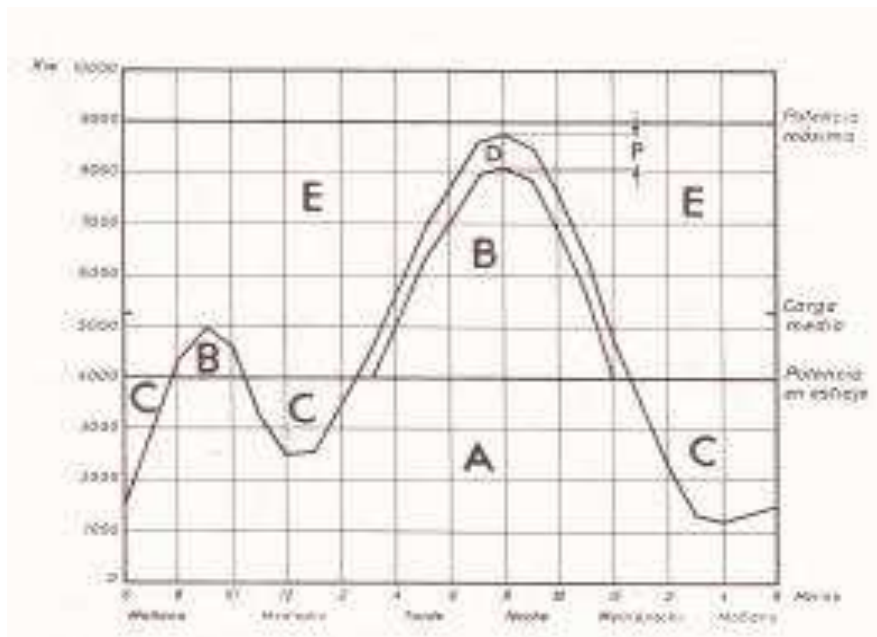
Con el depósito de regulación diaria, se puede almacenar el agua sobrante en las horas de carga mínimas, para suministrarla en las de cargas máximas. Naturalmente, la capacidad de la central ha de ser mayor que dicho máximo.



6) Solución.

Puede suceder que, según se indica en la figura 43 el agua almacenada en las horas de carga mínima no sea suficiente para cubrir la demanda en las horas de carga máxima, o sea que la superficie situada por debajo de la línea de potencia de la central en estiaje y limitada a demás por el grafico de carga, sea menor que la que queda por encima; es decir, que la línea de carga media de consumo, queda por encima de la línea de potencia en estiaje.

Por lo tanto, no basta la energía del agua almacenada en las horas de mínimo consumo y para suplir el déficit de energía que se presenta en las horas de máximo consumo, se requiere una maquina motriz auxiliar, generalmente térmica para disminuir la potencia de esta máquina auxiliar y para que trabajen buen rendimiento, conviene que en las horas de máximo consumo funcione constantemente a plena carga, o sea como

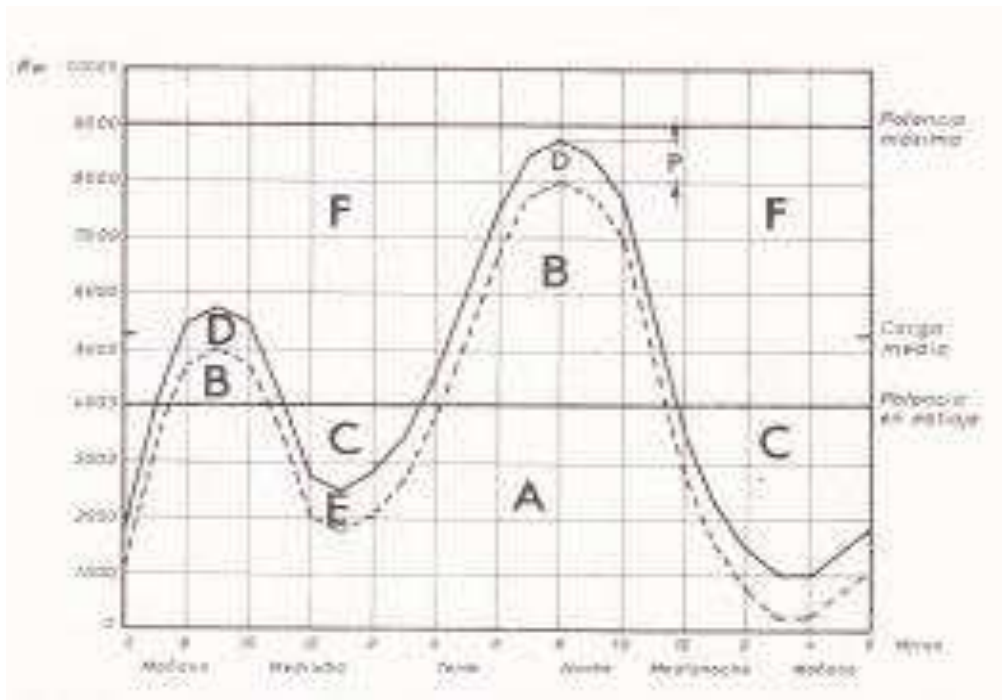


se indica en la figura 43, La energía correspondiente a la superficie D de la figura será suministrada por el agua almacenada **a**

En este caso, también la capacidad de la central ha de ser mayor que el máximo de consumo.

7) Solución.

Puede suceder que, en el caso anterior, al crecer el gráfico de carga, la superficie **a** llegase a ser menor que la superficie **b**, que deja libre por encima de la horizontal de potencia en estiaje la máquina motriz auxiliar trabajando a plena carga. Entonces, en vez de aumentar la reserva térmica con nuevas máquinas motrices, se puede conseguir que la máquina existente, en lugar de trabajar solamente en las horas de máxima carga, lo hiciese a plena carga durante todo o la mayor parte del día, es decir, tal como se representa en la figura 44.



La energía producida por la máquina motriz auxiliar servirá la zona **b** comprendida entre las dos curvas de trazo lleno y de punto, paralelas entre si y cuya distancia vertical constante representa la potencia de esta máquina auxiliar. En las horas de mínima carga se podrá almacenar el agua que, en la figura 44, está representada en energía potencial por la superficie **c**, situada por debajo de la línea horizontal representativa de la potencia en estiaje, entre esta y la curva de puntos. Y con esta energía, en los periodos precisos se podrá servir la zona **d**, situada en la parte superior de la horizontal de potencia en estiaje, entre esta y la curva de puntos.

POTENCIA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La **potencia de una central hidroeléctrica** se mide generalmente en Megavatios (MW) y se calcula mediante la fórmula siguiente:

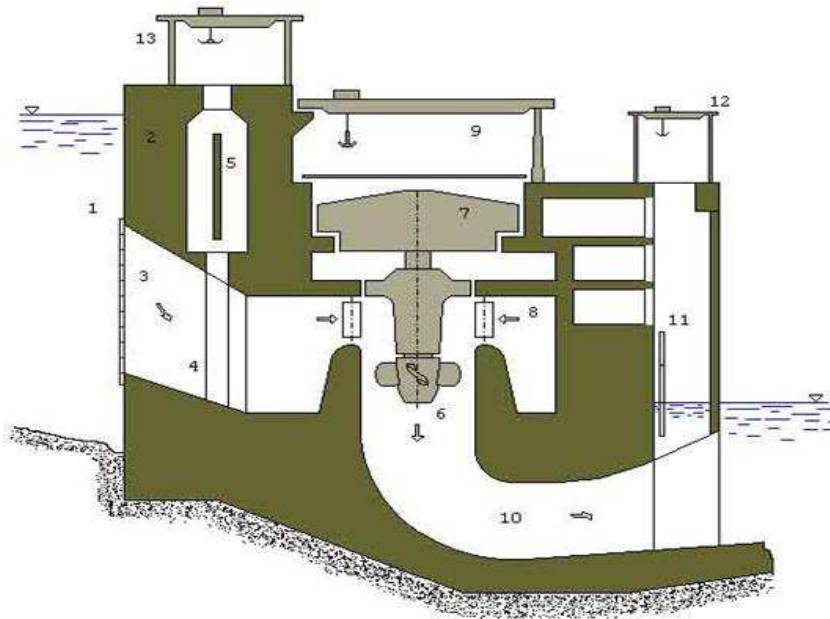
$$P_e = \rho \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m \cdot Q \cdot H$$

Dónde:

- P_e = potencia en vatios (W)
- ρ = densidad del fluido en kg/m^3
- η_t = rendimiento de la turbina_hidráulica (entre 0,75 y 0,94)
- η_g = rendimiento del generador_eléctrico (entre 0,92 y 0,97)
- η_m = rendimiento mecánico del acoplamiento turbina alternador (0,95/0.99)
- Q = caudal turbinable en $\underline{\text{m}^3/\text{s}}$
- H = desnivel disponible en la presa entre aguas arriba y aguas abajo, en metros (m)

En una central hidroeléctrica se define:

- **Potencia media:** potencia calculada mediante la fórmula de arriba considerando el caudal medio disponible y el desnivel medio disponible.
- **Potencia instalada:** potencia nominal de los grupos generadores.

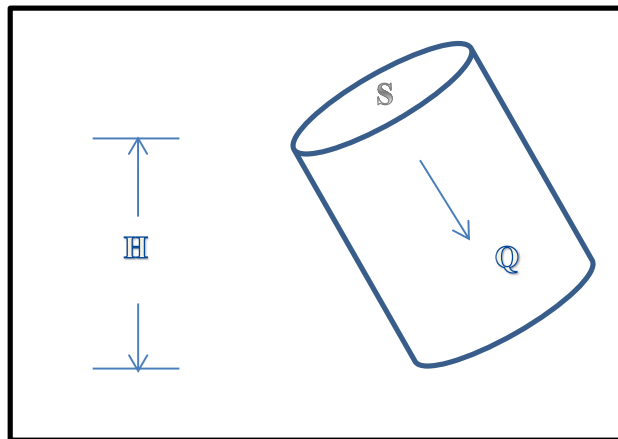


(7)

1. Embalse
2. Presa de contención
3. Entrada de agua a las máquinas (toma), con reja
4. Conducto de entrada del agua
5. Compuertas planas de entrada, en posición "izadas".
6. Turbina hidráulica
7. Alternador
8. Directrices para regulación de la entrada de agua a turbina

<https://imagen partes de una turbina.>

9. Puente de grúa de la sal de máquinas.
10. Salida de agua (tubo de aspiración)
11. Compuertas planas de salida, en posición "izadas"
12. Puente grúa para maniobrar compuertas salidas.
13. Puente grúa para maniobrar compuertas de entrada.



(8)

Representación de las magnitudes físicas requeridas para encontrar el potencial del recurso.

CALCULOS HIDRODINAMICOS

Presión: $\rho = d * g * h$

Dónde: d = es la densidad del agua (1000 kg/m³)

g = es la aceleración de la gravedad (en 9.8m/s²)

H = es la caída en metros.

ORTIZ Flores, Ramiro, Pequeñas centrales Hidroelectricas, McGraw Hill, 2011

Potencia: $P = F * V$

Dónde: $F = \text{fuerza}$

$V = \text{velocidad}$

Fuerza: $F = P * S$

Dónde: $S = \text{es la sección}$

La potencia es: $P = d * g * H * S * V$

Como el caudal es: $Q = V * S$

Tenemos: $P = d * g * H * Q$

Cálculos para velocidad del agua.

Tenemos: $V = \sqrt{2gh}$

$$V = \sqrt{2(9.8\text{m/s}^2)(23)\text{m}}$$

$$V = \sqrt{450.8\text{m}^2/\text{s}^2}$$

$$V = 21.23\text{m/s}$$

Para cálculos del caudal.

Tenemos: $Q = A \cdot V$

Donde $A = \pi r^2$ $r = \frac{D}{2}$ $r = \frac{1m}{2}$ $r = 0.5m$

$$A = \pi (0.5m)^2$$

$$A = 0.785398m^2$$

$$Q = 0.785398m^2(21.23m/s)$$

$$Q = 16.6 \text{ m}^3/s$$

Para cálculos de Presión.

Tenemos: $P = d \cdot g \cdot h$ $d(H^2O) = 1kg/m^3$

Donde:

$$P = 1kg/m^3(9.8m/s^2)(42m)$$

$$P = 411.6 \text{ Pa}$$

Para cálculos de Potencia.

Tenemos: $P = F \cdot V$ $F = \text{peso}$

Dónde : $p = m \cdot g$ $d = \frac{m}{v}$ $m = d \cdot v$

$$m = 1\text{kg/m}^3(11324\text{m}^3) \quad m = 11324\text{kg}$$

$$p = 11324\text{kg} (9.8\text{m/s}^2) \quad p = 110975.2 \text{ N}$$

$$F = 110975.2 \text{ N}$$

$$P = 110975.2 \text{ N}(21.23\text{m/s}) \quad P = 2356003.50 \text{ W}$$

$$P = 2356003.50 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} = 3158.18 \text{ hp}$$

$$P = 3158.18 \text{ hp}$$

TUBERIA DE PRESION.

Son tuberías que transportan el agua bajo presión hasta la tubería.

Selección de la turbina de presión.

1. Considerar las diferentes clases de uniones.
2. Comparar costos de mantenimientos.
3. Tomar en cuenta el diámetro de tubería y espesores de pared disponible.

Tipos de materiales de la tubería de presión.

Acero Comercial.- Ha sido uno de los materiales más utilizados en tubería de presión. Pueden ser fabricadas con maquinaria común en la mayor parte de los talleres de regular tamaños que trabajen el acero. Tienen diámetros y espesores variados. Tienen un factor de pérdida por presión. Pueden llegar a durar hasta 20 años. Cuando estas tuberías son enterradas, corren el riesgo de corroerse.

Poli cloruro de vinilo (PVC).- También es muy utilizada en pequeñas centrales hidráulicas. Es económica, se fabrican en diámetros que hasta 400mm, y resisten presiones elevadas (100 a 150m). Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene factor de pérdida y resistente a la corrosión.

Pueden ser dañadas por golpes o impactos de rocas porque es relativamente frágil, especialmente a bajas temperaturas. Una ventaja es que puede perder resistencia debido a los rayos ultravioletas que llegan a ella. Por esta razón deben estar protegidas de la luz solar directa. Esta tubería usan uniones tipo espigo y campana, las cuales se unen con pegamento o con un anillo flexible de sellado.

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE PRESION.

El diámetro de tubería de presión se determina con base en la selección optima entre el mínimo de pérdida y el mínimo de costo de la tubería. Las pérdidas en la tubería se reducen con el aumento del diámetro, pero este aumento incrementa el costo de la tubería; por esto el diámetro debe armonizar con el índice de pérdidas de energía y el costo de amortización de la tubería. Para esto se debe hallar el valor de

las pérdidas de energía por fricción en un año y el valor anual por amortización y mantenimiento de la tubería.

Para determinar el valor del diámetro de una forma mas sencilla se puede utilizar las siguientes expresiones.

Diámetro de la tubería: $D = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{V}}$

Donde: Q = caudal (m³/s)

V = velocidad (m/s)

TIPOS DE GENERADORES HIDROELECTRICOS

Tomando como referencia la central de Generación Paute, encontramos que las unidades constan de un Generador principal sincrónico, trifásico de eje vertical proyectado para funcionamiento continuo.

El generador se acopla directamente a la turbina que está debajo del mismo y dotada de su respectivo eje de acoplamiento, está dotado de un sistema de refrigeración de ciclo cerrado autoventilado y un sistema de excitación estática.

El sistema de refrigeración aire-agua a pesa de su simplicidad constructiva, cumple en el contexto del buen funcionamiento del generador un papel importante, en

efecto tiene la función de disipar una parte del calor producido por el equipo enfriando el aire del interior del generador por convección.

También encontramos otros sistemas de carácter primario entre los sistemas auxiliares del generador, como es el caso del sistema oleo- dinámico el mismo que tiene que reaccionar al producirse una variación rápida en la carga de consumo, estos sistemas auxiliares son analizados debidamente en la siguiente sección.

En la Centrales Hidroeléctrica el elemento mecánico imprescindible para la transformación de energía mecánica a energía eléctrica es la turbina, estas son máquinas que transforma en rotación la energía cinética de traslación que reciben desde las tomas de agua del embalse asía Casa de Maquina.

Se entiende por turbina, al dispositivo mecánico capaz de convertir en trabajo, la forma de movimiento de rotación, la energía cinética presente en masa de agua, vapor o gas, al hallarse estas concedidas de una determinada velocidad de desplazamiento. Por lo tanto toda turbina convierte la energía del agua manifestada bien en su forma de presión (energía potencial o de posición) como en la de velocidad (energía cinética), en el trabajo mecánico existente en un eje de rotación.

La aplicación inmediata del trabajo mecánico desarrollado en la turbina, es la de hacer girar el rotor del generador de energía eléctrica, en el cual se realiza la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. Todo ello, como secuela de estar rígidamente unidos, ordinariamente, los ejes de ambas maquinas, turbinas-

generador, formando un eje único con el que se obtiene sincronismo de giros entre las mismas.

En máquinas, en donde se proporcionan pequeñas potencias y se trabaja con poca altura de salto, se usa un multiplicador de velocidad instalado entre ambos ejes, con la finalidad de que las dimensiones del generador sean reducidas.

En términos generales y sin ánimos de ser reiterativos, podemos definir a las turbinas hidráulicas como motores hidráulicos destinados a aprovechar las corrientes y saltos de agua.

Una turbina hidráulica es accionada por el agua en movimiento, una vez que esta es debidamente encausada así el elemento de turbina denominado distribuidor, el cual circularmente, distribuye, regula y dirige un caudal de agua que tiende a incidir con mayor o menor amplitud hacia el centro del círculo descrito, sobre un rotor o rueda móvil conocida con el nombre de rodete, que, conjuntamente con el eje que está montado, a de estar perfectamente dinámica y estáticamente.

De lo expuesto se deduce como la energía del agua originalmente la mayoría de los casos en forma de energía potencial de tipo gravitatorio, se convierte en energía cinética al pasar sucesivamente por el distribuidor y el rodete, debido a la diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida de la conducción. En consecuencia se provocan cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del fluido, lo que hace que se produzca fuerzas tangenciales en el rodete, generándose así energía mecánica al girar este.

El rendimiento de las instalaciones con turbinas hidráulicas, siempre es elevado, pudiendo llegar desahogadamente al 90% o más, después de tener en cuenta todas las pérdidas hidráulicas por choque de caudal de fricción en el generador, mecánicas, etc.

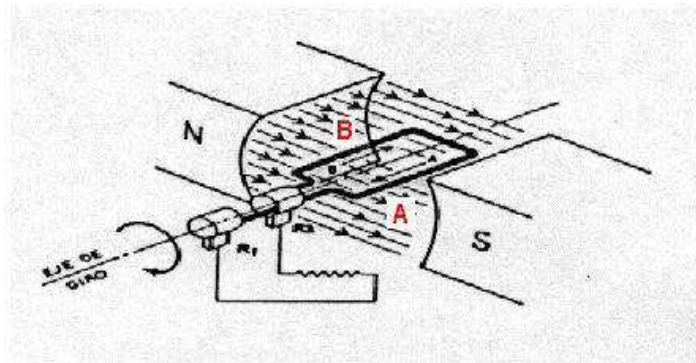
Los problemas de regulación de velocidad son importantes, principalmente a causa de las grandes masas de agua que entran en juego, con sus aceleraciones positivas y negativas, que se transforman en ondas de presión. La continuidad de las columnas de aguas transmite a las ondas, produciéndose fuertes choques o golpe de ariete que es necesario evitar o por lo menos controlar.

FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR HIDRÁULICO

Uno de los principales elementos dentro de una central hidroeléctrica es el Generador Hidráulico, el cual pertenece al grupo de dispositivos llamados máquinas eléctricas rotativas. Dichas máquinas se encargan en convertir la energía mecánica en eléctrica (Generador) o energía eléctrica en energía mecánica (Motor), utilizando ya sea corriente alterna o corriente continua y basando su funcionamiento en el principio de inducción electromagnética.

El principio de Inducción Electromagnética indica que al mover rápidamente un conductor eléctrico de tal manera que corte las líneas de fuerza de un campo magnético, en el conductor se inducirá o aparecerá una tensión eléctrica. La magnitud de esa tensión eléctrica inducida es directamente proporcional a la longitud del conductor comprendida dentro del campo magnético, la velocidad relativa entre el conductor y el campo, y también depende de la intensidad del campo. La tensión eléctrica que se induce es llamada Fuerza Electro Motriz (f.e.m.)

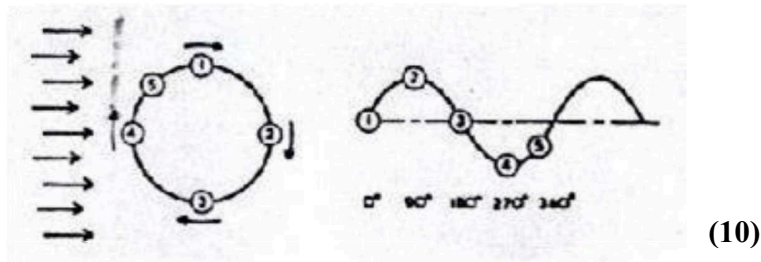
La Ley de Lenz nos dice que las fuerzas electromotrices o las corrientes inducidas en el conductor que se mueve dentro del campo, serán de un sentido tal que se opongan a la variación del flujo magnético que las produjeron. Para entender como se produce la f.e.m. Analicemos el funcionamiento de un generador elemental, el cual consiste en una bobina de alambre que gira en un campo magnético.



(9)

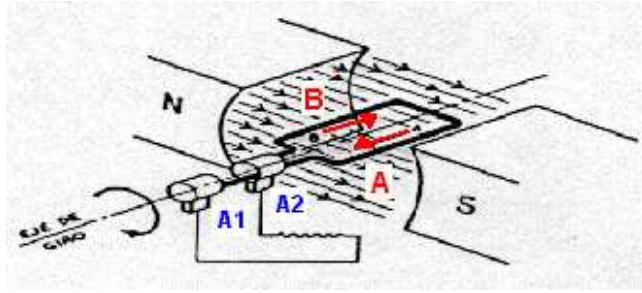
Figura 1.2. Esquema de Generador Elemental

Tal como se aprecia en la Figura 1.2, los lados A y B de la espira se moverán siempre en sentido opuesto con relación al campo magnético y por lo tanto la f.e.m. inducida en A y B estará también en sentido opuesto. La f.e.m. inducida se sumarán debido a que los lados A y B se encuentran conectados uno a continuación del otro formando la espira. A cada uno de estos lados A y B del conductor se les llama polos, por lo que para este ejemplo el generador es de 2 polos.



(10)

Cuando el lado A del conductor se encuentra en la posición 1 (Figura 1.3), se está moviendo en el mismo sentido que el campo magnético y no existe corte de las líneas de fuerza del mismo, por lo que no se induce ninguna f.e.m. Una vez que la espira ha girado 90° a la posición 2, se mueve en ángulo recto al campo y se inducirá una f.e.m. que produce una circulación de corriente en sentido hacia al observador como lo indica las flechas en la Figura 1.4, y el anillo rozante A1 tendrá una polaridad positiva respecto al anillo A2. Después a los 180° de giro se encontrará en la posición 3 el conductor y se moverá nuevamente en la misma dirección que el campo, es decir paralelamente, por lo que no se inducirá ninguna f.e.m. A los 270° de giro se encontrará en la posición 4 girando perpendicularmente al campo e induciéndose una f.e.m. de sentido de movimiento opuesto, resultando en una corriente en sentido opuesto al observador y dando una polaridad negativa al anillo rozante A1 con respecto al anillo A2. En posiciones intermedias como la 5 que se muestra, la dirección del movimiento del conductor forma un ángulo menor a 90° con el campo por lo que la cantidad de f.e.m. inducida será menor que la producida al formar los ángulos de 90° y 270° . En vista de lo anterior la f.e.m. inducida varía en forma sinusoidal cada vez que el conductor completa una revolución.



(11)

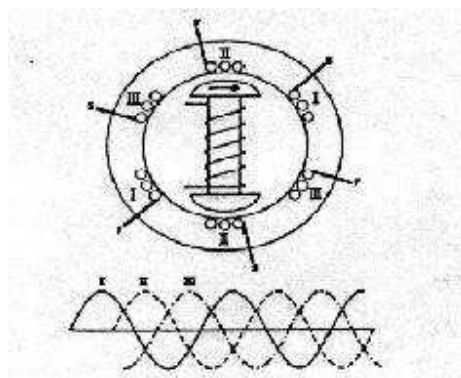
Para que el f.e.m. inducido sea de mayor magnitud, en vez de un solo conductor debe haber varias espiras conectadas en serie formando una bobina que se debe arrollar en un núcleo de hierro que gire junto con ella para reducir el entrehierro y concentrar el flujo magnético en la misma. Además al existir mayor cantidad de espiras se aumentará el número de polos lo que reducirá la velocidad a la que debe girar el bobinado giratorio. En vista de esto último la frecuencia de la f.e.m. está relacionada con el número de polos y la velocidad de giro, siendo así que si el número de polos es par, la frecuencia se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$frecuencia = \frac{\# \text{ Polos } \times \text{ Velocidad RPMs}}{60}$$

60

Ahora bien puesto que la f.e.m. se induce debido al movimiento relativo entre el conductor y el campo, esto significa que la bobina puede girar en un campo magnético estacionario ó también que sea el campo magnético el que gire y la bobina permanezca estática. Y es esto último lo que justamente ocurre generalmente en los grandes generadores como los de una central hidroeléctrica, en donde el rotor o parte móvil produce un campo magnético giratorio dentro de un estator que contiene los devanados de armadura. El propósito de esto es simplificar el problema de los aislamientos de los devanados de alta tensión y a la vez proteger el generador de los esfuerzos mecánicos.

Además en este tipo de generadores el estator tiene tres diferentes grupos de bobinas espaciadas 120° eléctricos entre sí enrolladas en el núcleo del estator (Figura 1.5), formando de esa manera un sistema de tres fases o trifásico, alcanzando cada una de estas fases su valor máximo de tensión en diferentes momentos de acuerdo a su posición relativa al campo magnético giratorio y los finales de estas tres bobinas están conectadas entre sí formando una conexión estrella. La tensión que aparece entre los terminales libres de cualquiera de dos devanados es de 1,73 veces la tensión que existe en uno de ellos.



(12)

Figura 1.5. Generador Trifásico y su tensión generada

a) Excitatriz

Se encarga de suministrar la energía para generar el campo magnético rotativo en el rotor. Prácticamente llega a ser un pequeño generador con una bobina girando en un campo magnético estático. Inicialmente la excitatriz recibe la alimentación eléctrica de un banco de baterías de 125 VCD para producir el campo magnético, que inducirá un voltaje en el bobinado rotativo de la excitatriz que se encuentra en movimiento gracias a la inyección de agua en la turbina de la Unidad Generadora.

Adicionalmente en el rotor de la excitatriz se encuentra un conjunto de diodos que rectifican el voltaje AC inducido y lo convierten en CD para suministrarlo a la bobina de excitación o de campo del generador principal.

Una vez que el generador principal produce su voltaje de salida, este es convertido a DC para alimentar a la excitatriz y reemplazar al banco de baterías. Invierte el campo excitador y la armadura eliminando el uso de anillos rozantes, y permitiendo controlar el voltaje de salida del generador principal por medio del campo excitador que provee al estator.

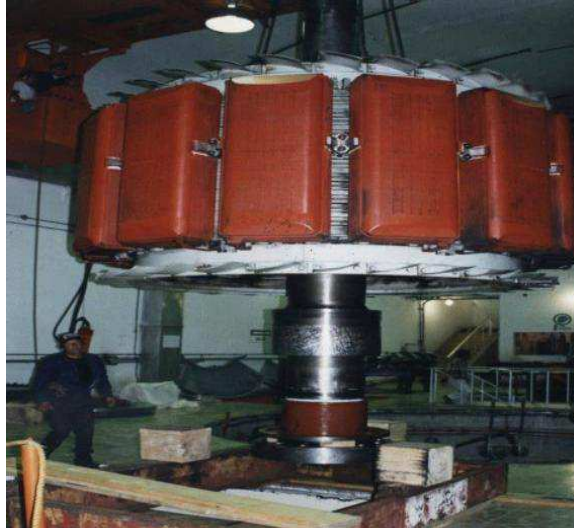


(13)

Figura 1.6. Bobinado rotativo de la excitatriz con sus diodos rotativos

b) Bobina de Excitación o de Campo

Produce el campo magnético giratorio para el generador principal, para lo cual recibe la alimentación de voltaje DC desde la excitatriz. Se encuentra en el eje giratorio que está acoplado a la turbina del generador y su bobinado forma un conjunto de polos.



(14)

Figura 1.7. Bobina de Campo del generador principal

c) Devanado del Estator

Es el conjunto de bobinados donde se induce el voltaje de salida del generador principal debido al efecto del campo magnético giratorio producido por la bobina de campo del rotor

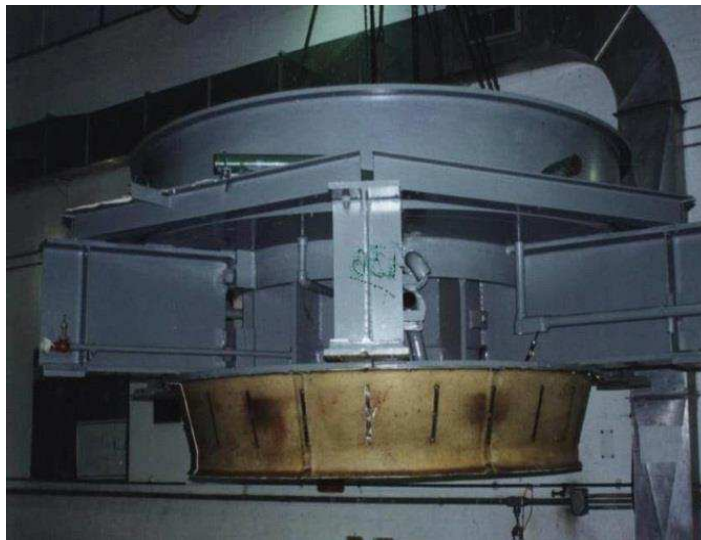


(15)

Figura 1.8. Devanados del estator del generador principal

d) Cojinetes o Chumaceras

En general la finalidad básica del cojinete es transmitir el peso y esfuerzo de las partes giratorias a las losas, esto es a la estructura de la casa de máquinas. Por consiguiente la chumacera guía no permite oscilaciones a las partes giratorias, es decir sirve para guiar al eje. Los cojinetes trabajan en máxima estabilidad y permitir el menor movimiento radial posible. Para desempeñar su función los cojinetes, poseen aceite lubricante en su interior en donde se encuentra sumergido el eje principal del generador, con lo que se reduce la fricción entre los elementos. En la unidad generadora existen tres cojinetes principales: Guía Turbina, Inferior Generador y Combinado, teniendo este último dentro de sí el cojinete Guía Superior y el cojinete de Empuje.



(16)

Figura 1.9. Cojinete Superior

e) Sistema de Frenado y Levantamiento

El sistema de frenado está conformado por la pista y gatos de frenado, siendo su función el detener la máquina en el menor tiempo posible. La operación de los gatos de frenado se produce cuando la velocidad de rotación desciende del 20% de su velocidad nominal, momento en que los gatos de frenado se friccionan con la pista de frenado.

El sistema de levantamiento se encarga de levantar al eje principal de la unidad generadora, para que se produzca la película de aceite lubricante entre las partes móviles y fijas, y de esa forma permitir el movimiento rotativo de la unidad.

f) Sistema de Enfriamiento

Su función es reducir y mantener la temperatura dentro del rango aceptable de trabajo de los componentes de la unidad generadora, tales como los cojinetes y el tanque colector de aceite en los cuales interiormente existe una tubería intercambiadora de calor; y los bobinados y chapas del estator que son refrigerados por medio de radiadores que enfrían el aire circundante al generador. El elemento refrigerante que se utiliza en este sistema es el agua turbinada que se impulsa por un conjunto de bombas y distribuido mediante las respectivas tuberías.



(17)

Figura 1.10. Radiador para enfriamiento

g) Sistema Oleodinámico

El objetivo fundamental que cumple el sistema oleodinámico en combinación con los circuitos electrónicos, es realizar la regulación de velocidad con el propósito de mantener durante la generación una frecuencia constante, pese a cualquier variación de carga que se produzca. La regulación de la velocidad de la unidad está asegurada por un regulador electrónico, aire y aceite comprimidos, y equipado de un distribuidor para mando de las agujas de los inyectores y de los deflectores. Los inyectores son los que aplican el chorro

de agua a gran presión sobre el rodete de la turbina para hacerla girar, mientras que los deflectores interrumpen el chorro de agua de forma súbita en caso de un paro de emergencia de la unidad, aún antes que se cierren los inyectores.

Transformador Eléctrico

El Transformador es un dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna (CA) aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas. La bobina conectada a la fuente de energía se llama bobina primaria. Las demás bobinas reciben el nombre de bobinas secundarias. Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador.

Si el voltaje secundario es inferior al primario este dispositivo recibe el nombre de transformador reductor.

El producto de intensidad de corriente por voltaje (potencia) es constante en cada juego de bobinas, de forma que en un transformador elevador el aumento de voltaje de la bobina secundaria viene acompañado por la correspondiente disminución de corriente.

Tipos de transformadores.

a) Para la distribución:

Transformador tipo poste: Los transformadores de distribución tipo poste, monofásicos y trifásicos son el elemento básico en redes de distribución de energía eléctrica, en el sistema urbano y rural. Son los que hace posible al usuario final la utilización de energía eléctrica de bajo consumo. En los desarrollos habitacionales, residenciales y de micro industrias.

Los transformadores de este tipo son de pequeña capacidad y tamaño reducido. Los transformadores tipo poste son construidos de acuerdo a las Norma Nacional NMX-J-116-ANCE o a las especificaciones CFE-K0000.01 o LFC-GDD-174 sumergidos en aceite mineral con enfriamiento natural (CLASE OA); con elevación de temperatura de 65° C. Sobre un ambiente promedio de 30° C y un máximo de 40°C y frecuencia de HZ, en capacidades de 10 hasta 167 KVA para monofásicos y de 15 hasta 150 KVA para equipos trifásicos. Las clases de voltaje cubiertas son desde 1.2 hasta 34.5 KV.

Transformador tipo Pedestal: Se usa en las potencias de 1500 kVA, estos tipos de transformadores proyectan para ser montados en una base concreta y capaz para medios externos donde ellos están sujetos al mal tiempo, así como para los medios subterráneos. Se pintan de color verde para la anticorrosión (norma).

b) Para la transmisión.

Transformador de Potencia:

El transformador de potencia es un equipo fijo que convierte una tensión y una corriente a otra mediante el principio de inducción electromagnética. El tipo de transformador es de potencia, es decir, que aumenta la corriente y disminuye la tensión de una energía primaria a otra secundaria.

Transformador de corriente:

Es un equipo que protege y regula las corrientes que entran y salen del transformador de potencia. Transformador tipo estación: Se usan para transformar la energía en las subestaciones, son más grandes y ocupan más espacio que los dos anteriores. Trabajan con una potencia de 500KVA-100MVA.

CAPITULO II

HIPOTESIS

LA FACTIBILIDAD EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE LA REPRESA DEL PROYECTO PROPOSITO MULTIPLE CHONE APROVECHANDO EL FLUJO DEL AGUA DE LA REPRESA DEL SITIO RIO GRANDE, PARROQUIA SANTA RITA, CANTON CHONE.

VARIABLES

a) VARIALE INDEPENDIENTE

Flujo de agua de la represa.

b) VARIALE DEPENDIENTE

Generación de energía eléctrica.

CAPITULO III

METODOLOGIA

TIPOS DE INVESTIGACION

El presente trabajo se caracteriza particularmente por los tipos de investigación empleados, métodos, técnicas e instrumentos que se han utilizado para llegar al objetivo propuesto de la investigación.

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El nivel del presente trabajo es científico y experimental:

Científico porque a través del estudio, análisis sistemático y la aplicación de las reglas y normas técnicas observadas en el proceso, se cumple el objetivo que consiste en Demostrar a través de los fundamentos teóricos y prácticos la factibilidad de la generación de energía eléctrica mediante turbinas, aprovechando el desfogue de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone, para servir al sistema en las emergencias del (S.N.I.) y experimentar por cuanto el estudio se llegue a la verdad que conlleva al mejorar la calidad del servicio energético en Chone.

METODO

En esta investigación se utilizaron los métodos inductivos, deductivos, analíticos-sintéticos y científicos, a más de la encuesta.

La encuesta que nos permite establecer parámetros en porcentajes sobre la importancia de determinado tema.

El método científico nos ayuda a determinar con lógica y exactitud la verdad del tema; motivo de la investigación.

Los inductivos y deductivos porque se sustentan en la generalización de propiedades comunes; a casos observados, y se extrajeron conclusiones y recomendaciones.

El método analítico sintético, que nos permite dividir el trabajo; lo que facilita una mejor comprensión del tema escogido.

TECNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACION

Las técnicas que se utilizaron en la obtención de la observación fueron la encuesta y la observación la misma que fue dirigida a profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

Obtención de la información.- se obtuvo de encuesta, observaciones, por parte de la secretaria nacional del agua con sede en Chone, información de internet y libros etc.

POBLACION Y MUESTRA

Población.- La constituyen los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 – 2011, los cuales 38 son profesionales y 60 los egresados con un total de 98 personas encuestadas.

Muestra.- Siendo la población pequeña se toma como muestra el 100% de la población que son los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

Encuesta dirigida a los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011. Para establecer criterios acerca de la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone y la posible factibilidad de generación de energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica.

Identificar con una marca la alternativa que considere pertinente

1°) ¿Tiene usted conocimiento acerca de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?

Si () no ()

2°) ¿Está de acuerdo con la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?.

Si () no ()

3°) ¿La ejecución del Proyecto Propósito Múltiple Chone, beneficiara al cantón Chone?

Si () no ()

4°) ¿Conoce usted acerca de una central hidroeléctrica?

Si () no ()

5°) ¿Considera usted que se pueda generar energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?.

Si () no ()

6°) ¿Con la generación de energía eléctrica mediante la central hidroeléctrica, cree que podrá mejorar la calidad del servicio energético en Chone? Si () no ()

MARCO ADMINISTRATIVOS

RECURSOS HUMANOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron recursos humanos y financieros

Para realizar el análisis de costo de la tesis propuesta hay que tomar en cuenta el trabajo en equipo con respecto a la investigación y sobre todo que la investigación de la misma no se construya en el país, por lo que su diseño, dirección y ejecución es exclusiva de los autores de este trabajo.

RECURSOS FINANCIEROS.

Los materiales y elementos utilizados con sus respectivos costos se detallan a continuación.

Elementos	Cantidad	Valor unt	Total
1. Remas de papel boom	5	4.00	20.00
2. Impresiones blanco / negro	980	0.05	49.00
3. Anillados	5	2.00	10.00
4. Impresiones a color	500	0.50	250.00
5. Consultas en internet	150 horas	1.00	150.00
6. Traslados o movilización	-	250.00	250.00
			<hr/>
			\$. 729. 00

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO

RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE DATOS.

Encuesta dirigida a los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011. Para establecer criterios acerca de la construcción de la repesa del Proyecto Propósito Múltiple Chone y la posible factibilidad de generación de energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica.

PREGUNTA	OPCIONES		TOTAL ENCUESTA	% SI	NO	TOTAL %
	SI	NO				
1	86	12	98	88%	12%	100%
2	46	52	98	47%	53%	100%
3	76	22	98	78%	22%	100%
4	98	0	98	100%	0%	100%
5	22	76	98	22%	78%	100%
6	98	0	98	100%	0%	100%

FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

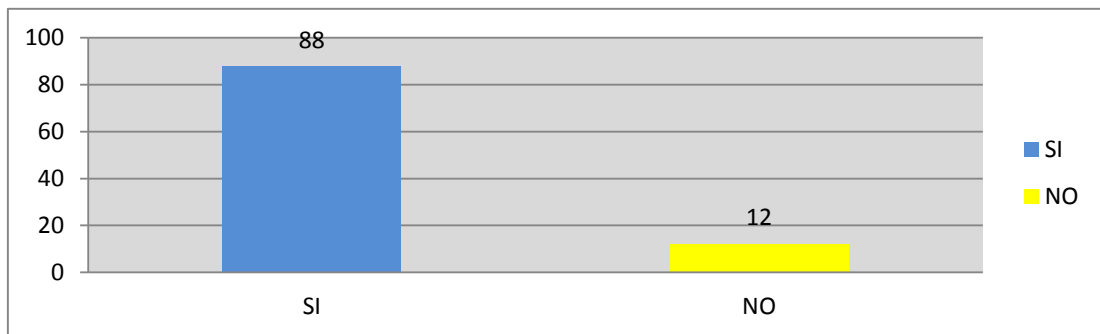
PREGUNTA #1

¿Tiene usted conocimiento acerca de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?

CUADRO DE RESULTADO PREGUNTA N° 1

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	86	88
NO	12	12
	98	100%

GRAFICO N° 1



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 86% de los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica respondieron conocer acerca del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Mientras que el 22% respondieron desconocer del mismo.

Por lo tanto la respuesta número uno es aceptable ya que la mayoría de los encuestados conocen del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

PREGUNTA # 2

¿Está de acuerdo con la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?

CUADRO DE RESULTADO DE PREGUNTA N° 2

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	46	47
NO	52	53
	98	100%

GRAFICO N° 2



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 46% de los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica respondieron estar de acuerdo con la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Mientras que el 52% respondieron no estar de acuerdo con la construcción de la misma.

De esta manera los resultados de la pregunta número dos se comprueba que los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica están de acuerdo con la construcción de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

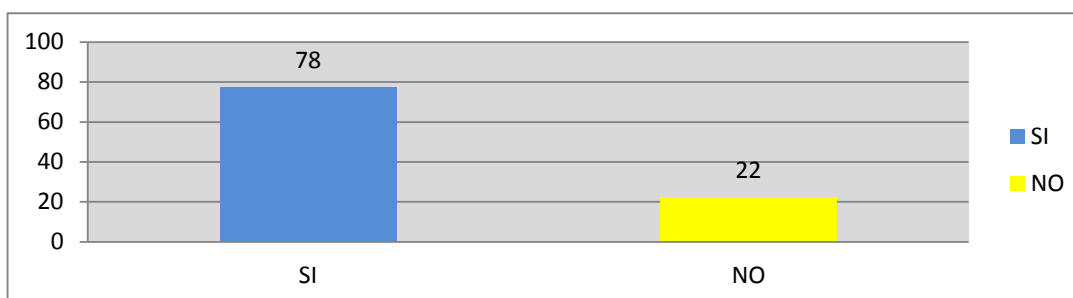
PREGUNTA # 3

¿La ejecución del Proyecto Propósito Múltiple Chone, beneficiara al cantón Chone?.

CUADRO DE RESULTADO N° 3

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	76	78
NO	22	22
	98	100%

GRAFICO N° 3



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 76% de los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica respondieron afirmativamente que el Proyecto Propósito Múltiple beneficiara al cantón Chone.

Mientras que el 22% respondieron que este proyecto no beneficiara al cantón Chone.

De esta manera deducimos que los resultados de la pregunta número tres son afirmativos con respecto a los beneficios que tendría el cantón Chone con la construcción del Proyecto Propósito Múltiple beneficiara al cantón Chone.

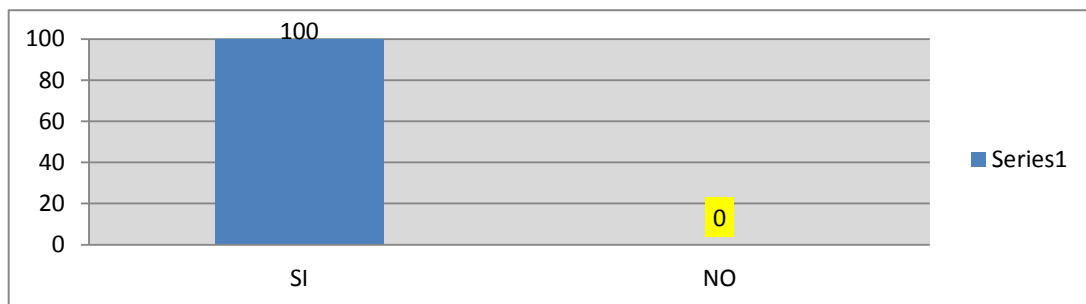
PREGUNTA # 4

¿Conoce usted acerca de una central hidroeléctrica?

CUADRO DE RESULTADO DE PREGUNTA N° 4

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	98	100
NO	0	0
	98	100%

GRAFICO N° 4



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 100% de los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica respondieron conocer acerca de una central hidroeléctrica.

Para lo cual deducimos que los resultados de la pregunta número cuatro es aceptable ya que 100% de los encuestado respondieron conocer de una central Hidroeléctrica.

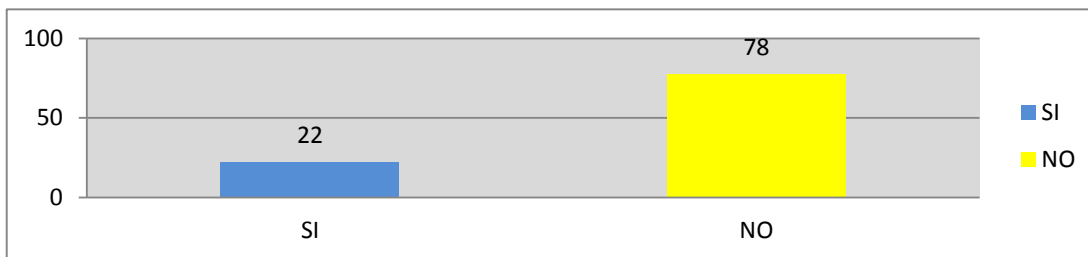
PREGUNTA # 5

¿Considera usted que se pueda generar energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone?.

CUADRO DE RESULTADO DE PREGUNTA N°5

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	22	22
NO	76	78
	98	100%

GRAFICO N° 5



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 22% de los profesionales y egresados de escuela de ingeniería eléctrica respondieron favorablemente que se pueda crear energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Mientras que el 78% respondieron no estar de acuerdo. De esta manera se deduce que los resultados de la pregunta número cinco, son negativos ya que gran parte de los encuestado creen que no se pueda generar energía eléctrica mediante una central hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

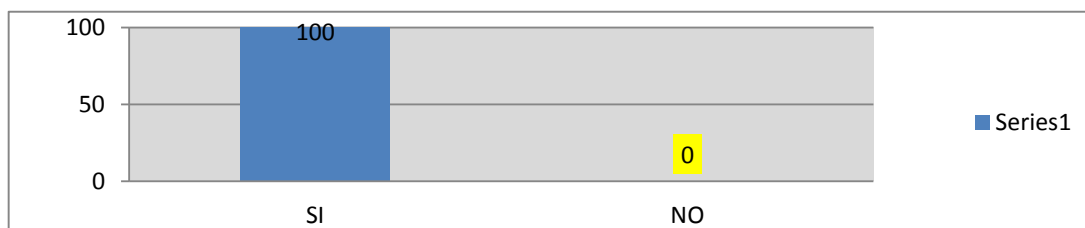
PREGUNTA # 6

¿Con la generación de energía eléctrica mediante la central hidroeléctrica, cree que podrá mejorar la calidad del servicio energético en Chone?.

CUADRO DE RESULTADO DE PREGUNTA N° 6

<i>x</i>	<i>f</i>	%
SI	98	100
NO	0	0
	98	100%

GRAFICO N° 6



FUENTE: Los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011.

RESPONSABLE: Vega Palma Gonzalo y Mera Villalva Jacinto

ANALISIS

El 100% de los profesionales y egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone en el periodo lectivo 2010 - 2011. Respondieron afirmativamente que si se podría mejorar la calidad del servicio energético en Chone mediante una central hidroeléctrica.

Para lo cual llegamos a la deducción afirmativa de la pregunta número 6, ya que los encuestados respondieron que si se podría mejorar el déficit de energía eléctrica en Chone, siempre y cuando exista una central hidroeléctrica que cumpla con las normas de generación.

COMPROBACION DE LA HIPOTESIS

La hipótesis que nos hemos planteada sobre "La factibilidad de la generación de energía eléctrica mediante turbinas, aprovechando el desfogue de la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone, para servir en las emergencias del sistema nacional interconectado." no es posible cumpliendo los siguientes parámetros.

Al analizar y mediante los estudios de cálculos empleados se logra demostrar que no es factible la generación de energía eléctrica mediante la central Hidroeléctrica propuesta para la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone, ya que el tipo de embalse no es suficiente y es variable en distintas épocas del año.

Por otro lado no es viable, ya que al querer implementar turbinas, estas necesitan de un salto y altura adecuada, presión y caudal de agua constante, para lo cual ningunas de las turbinas se acogen al caudal del diseño.

Frente a los antecedentes analizados, la Hipótesis no es aplicable, ni conveniente; por lo tanto no es factible la generación de energía eléctrica mediante una central Hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Una vez terminado el proceso de trabajo de la investigación, tabulado y analizado los datos se puede establecer:

Que la propuesta no es factible técnicamente, de tal manera que se demuestra que el caudal y altura bruta, no va acorde con las necesidades y funcionamiento de una central Hidroeléctrica.

Que la investigación realizada mediante cálculos eminentemente técnicos no establece ninguna factibilidad de generación de energía eléctrica mediante una central Hidroeléctrica en la represa del Proyecto Propósito Múltiple Chone.

Que las Central Hidroeléctrica necesitan de un salto neto aprovechables más abajo del nivel del piso, y las condiciones son horizontales, por otra parte no existe caída suficiente altura a lo largo del río. Por lo tanto nuestra Hipótesis es negativa.

RECOMENDACIONES

Que en estos tipos de centrales de generación hidroeléctrica, es indispensable tener un caudal mínimo de agua constante de $15\text{m}^3/\text{s}$ y una altura mínima de 50m de caída.

Que la escuela de Ingeniería Eléctrica en lo presente considere ésta investigación como guía de aprendizaje para las futuras generaciones de ingenieros Eléctricos.

BIBLIOGRAFÍA

ACOLIT Cía Ltda. Asesoría y Consultora del Litoral Cía. Ltda. 2008

**CRIOLLO CABRERA. CENTRALE HIDROELÉCTRICAS
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – CUENCA**

**Enciclopedia/ Ediciones CEAC, S A. / Centrales Electrica 1972 Perú, 164 –
Barcelona-20 (España).**

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1096> 2011

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/268>.2010

**IDEA. Minicentrales Hidroelectricas.Madrid.intituto.para la Diversificacion y
Ahorro de Energia 2006**

**LAMINA.L, AVALOS L, Diseño y Construcción de la microcentral Cenbillin. Tesis
15 T00280.Riobanba:ESPOCH.1997**

ORTIZ Flores, Ramiro, Pequeñas centrales Hidroelectricas, McGraw Hill, 2011.

ORTIZ.R. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 2001

**Progama. ALTENER. Manual de pequeña Hidraulica.Bruselas. DG XVII
Comision de las Comunidades Europeas.1998**

Repositorio.Espe.Edu.Ec/Bitstream/21000/3391/1/T-ESPEL-0140.Pdf

De JF Balseca Acosta - 2007

RIOFRIO P. Micro. Hidroenergia.2007

**Rocano Tenezaca, Zonia Maricela BIODIGESTOR APLICADO A
CENTRALES HIDROELECTRICAS USANDO LIRIO ACUATICO**

SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA) 2012

ALEXOS



IMAGEN DEL ENCAUSAMIENTO DE LA REPRESA DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE.



INICIO DE CONSTRUCCION DE LA REPRESA PROYECTO PROPÓSITO
MÚLTIPLE CHONE.



TUNEL DE INGRESO DEL DESVIO DEL RIO GRANDE



DIRECCIONALIDAD DEL DESAGUE DE LA REPRESA



LUGAR DONDE EMPIEZA EL MURO DE LA PRESA



RECOPILANDO INFORMACION DE LA REPRESA DEL PROYECTO
PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE.