ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"Optimización de la Potencia Instalada del Proyecto Hidroeléctrico Caluma Bajo"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION POTENCIA

Presentada por:

Karla Vanessa Mosquera Bravo

Ángel Alan Valencia Burgos

Jorge Eduardo Oviedo Galarza

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2009

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos concluir con éxito la presente tesis, a nuestros familiares por el apoyo incondicional, a los profesores por apoyarnos con la información brindada, al Ing. Juan Saavedra, Director de Tesis por su dedicación y su constante ayuda en la elaboración y conclusión de nuestra tesis.

DEDICATORIAS

A nuestros Padres, Hermanos y Familiares.

A mi Madre, a mi Padre, a mi Hermana, a mi mejor amiga Ivette Oñate por su apoyo incondicional que me brindaron durante la realización de la tesis y así alcanzar este nuevo éxito en mi vida. (*Karla Mosquera*)

A mi Madre a mi Padre a mis Hermanos a todas aquellas persona que confiaron en mí y supieron ser parte de este nuevo Éxito en mi vida. (*Ángel Valencia*).

A toda mi familia en especial a mi madre por su apoyo moral e incondicional para poder cumplir una meta más en mi vida. (*Jorge Oviedo*).

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Jorge Aragundi.
SUB-DECANO DE LA FIEC
PRESIDENTE

Ing. Juan Saavedra M.
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Cristóbal Mera.
VOCAL

Ing. Gustavo Bermúdez F.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Karla V. Mosquera Bravo

Ángel A. Valencia Burgos

Jorge E. Oviedo Galarza

RESUMEN

La Escuela Superior Politécnica del Litoral, para cooperar con el país, ha decidido mediante Tópico de Graduación, realizar estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y Optimización para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos de la cuenca del río “Guayas” mediante la producción de energía eléctrica. El presente proyecto se denomina “Caluma Bajo”, en el cuál pretende aprovechar las aguas del río “Pita”

.

Capitulo 1: Objetivos, Alcances, Información Disponible

Se presentan los objetivos propuestos por el grupo de trabajo en el transcurso del Tópico de Graduación, así como también el alcance del mismo. Además se mostrará el estado en que el proyecto ”Caluma Bajo” se encontraba y sus características, en la información disponible mostraremos los diferentes recursos de los cuales se nos facilitó la información del proyecto en el estado pasado y en el actual del mismo.

Capitulo 2: Estudios Básicos de Ingeniería

Se presentan los datos Meteorológicos de interés como Temperatura y pluviometría, además datos hidrométricos en forma grafica que describen el

comportamiento hidrológico estacional del proyecto. Finalmente se determinan los caudales necesarios para el dimensionamiento de obras y para la preservación del medio ambiente.

Capitulo 3: Geología

Se presentan características geológicas del área del proyecto, tales como litología, sismicidad y volcanismo.

Capitulo 4: Descripción de Alternativas

Se muestra la indicación exacta del proyecto y se describe la forma de aprovechamiento a realizar, que en este caso consiste en la distancia de conducción del agua, las cuales se muestran gráficamente.

Capitulo 5: Producciones Energéticas

Mediante análisis estadístico y por medio de la herramienta de Excel se generaron una serie de caudales mensuales para los próximos 50 años a partir de su historial de registros, obtenidos en el capítulo 3, de esta forma se simula el comportamiento de la central para estimar la energía que se generara en este tiempo.

Capitulo 6: Diseño de Obras

En este capítulo se describen las obras civiles del proyecto, desde el punto de captación hasta la restitución.

Capitulo 7: Presupuesto de Obra

Se presentan tablas indicando las cantidades y costos de la obra detallada para cada componente del proyecto incluidos el equipo electromecánico.

Capitulo 8: Análisis Económico

Para el siguiente análisis se elije el lugar más adecuado para la venta de energía de la central, luego se calculan el TIR y el VAN. Seguido de esto se toma en cuenta el riesgo país y el riesgo industrial con que el Ecuador está calificado actualmente a nivel internacional, se ha calculado el WACC (Costo Promedio Ponderado de Capital).

Además presentamos las conclusiones y recomendaciones.

ABREVIATURAS

CER	Certificado de Reducción de Emisión de Carbono.
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad.
Hb	Altura bruta.
Hn	Altura neta.
KP	Coeficiente de pérdidas.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
PMP	Precipitación media ponderada.
Qdis	Caudal de diseño.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
VAN	Valor Actual Neto.
WACC	Promedio Ponderado del Costo del Capital.

INTRODUCCION

En los últimos años el país ha ido evolucionando en el sector eléctrico debido al crecimiento industrial, lo que se ha visto traducido en una mayor demanda de energía eléctrica y, dado que nuestro sector eléctrico no se encuentra en la capacidad de suplir satisfactoriamente esta demanda, nos hemos visto en la necesidad de crear nuevas fuentes de energía eléctrica.

En nuestro país contamos con una gran capacidad hídrica, hecho que nos permite pensar en la explotación de dichos recursos para así poder generar energía y abastecer nuestra demanda.

Debido a este motivo la construcción de centrales hidroeléctricas es una de las mejores alternativas, teniendo en cuenta que la capacidad de las mismas puede ser de pequeña, mediana, y grande.

Con el objetivo de satisfacer el crecimiento industrial y demográfico de nuestro país, la alternativa de implementar centrales hidroeléctricas de mediana capacidad es una buena contrarréplica al continuo incremento en lo que concierne a la demanda de energía.

Para ayudar a enfrentar este problema analizaremos la optimización del proyecto hidroeléctrico “Caluma bajo” que se encuentra ubicado en la cuenca hidrográfica del río Guayas como sub-cuenca del sistema fluvial del río Babahoyo.

INDICE GENERAL

Introducción

Capitulo1

Capitulo 2

Capitulo 3

Capitulo 4

Capitulo 5

Capitulo 6

Capitulo 7

Capitulo 8

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE GRAFICOS

Capitulo 2

Capitulo 5

INDICE DE TABLAS

Capitulo 5

Capitulo 6

Diseño de Obras

Capitulo 7

Presupuesto de Obra

Capitulo 8

Análisis Financiero

CAPÍTULO 1

1.1. Antecedentes

El proyecto Caluma bajo tiene varios estudios realizados desde los inicios del INECEL que realizando varios análisis hidrológicos y meteorológicos llevaron al proyecto de “Caluma Bajo” a un estado de prefactibilidad, seguido del tópico de graduación pasado y con ayuda de herramientas informáticas se dejó al proyecto en el estado que se encuentra actualmente que es de Factibilidad.

Basados en estos estudios y siguiendo la misma metodología de trabajo realizados por INECEL y por equipos de trabajo de tópicos pasados, el proyecto “Caluma Bajo” se encuentra en un estado de desarrollo más avanzado que es de “Optimización de la Potencia Instalada de la Central”.

1.2. Información Disponible

Para la realización de este proyecto se dispone de información meteorológica de la estación de “Echeandia” desde el año 1965 hasta 1999.

- Temperatura del aire a la sombra (ºC), absoluta y media, máxima y mínima, por cada mes.
- Humedad relativa (%): máxima, mínima y media por cada mes.
- Precipitaciones Medias Ponderadas: mensual, máxima ponderada.

Debido a que el río Pita no cuenta con una estación hidrométrica, no se dispone de información del historial de caudales para este proyecto; sin embargo, se ha realizado un estudio previo con el fin de transponer la serie de caudales diarios y mensuales promedio disponible de un río cuyo comportamiento hidrológico estacional sea similar al del proyecto.

Después de realizado el análisis correspondiente se llegó a la conclusión de que el río que posee una información hidrológica y cuyo comportamiento estacional es similar al de interés es el río “Echeandia”.

Para determinar el caudal de diseño se han transpuesto estos caudales al sitio de interés aplicando métodos meteorológicos.

Se han transpuesto los registros de caudales máximos en la estación “Echeandia” durante el periodo de 1965 hasta 1990, para realizar el análisis de crecidas, indispensable para el dimensionamiento de las obras civiles.

1.3. Objetivos

- Conocer el estado de estudio actual del proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo” tales como; Historial de caudales, costos de implementación del proyecto, producciones energéticas, estudios económicos.
- Plantear alternativas de diseño para así poder disminuir el costo de implementación del proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo”.
- Realizar los análisis y estudios necesarios para poder optimizar la potencia instalada del proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo”.
- Utilizar las herramientas computacionales para la simulación de producciones energéticas basadas en una serie mucho más amplia de caudales promedio mensuales.
- Determinar si el proyecto es o no recomendable en base a los índices obtenidos del estudio económico.

1.4. Alcance

El alcance del tópico de graduación de “Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y Optimización de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas” es de ayudarnos a la familiarización de las herramientas necesarias y el asesoramiento adecuado durante el diseño del aprovechamiento del recurso hídrico de un lugar especifico.

El alcance del proyecto “Caluma Bajo” es recopilar los estudios realizados anteriormente, con el objetivo principal de poder optimizar la potencia instalada de la central, que se ubicara en la provincia de Bolívar aprovechando el agua de los ríos Tablas y Escaleras.

CAPÍTULO 2

ESTUDIOS BASICOS DE INGENIERIA

2.1 Ubicación Geográfica

El proyecto “Caluma Bajo” ubicado en la provincia de Bolívar con su principal acceso desde la carretera Quevedo-Daule, pero por el desvió Pueblo Viejo-Catarama siguiendo una carretera de tercer orden hasta la población de San Antonio de Caluma desde ahí se siguen con caminos carrozables hasta el sitio del proyecto.

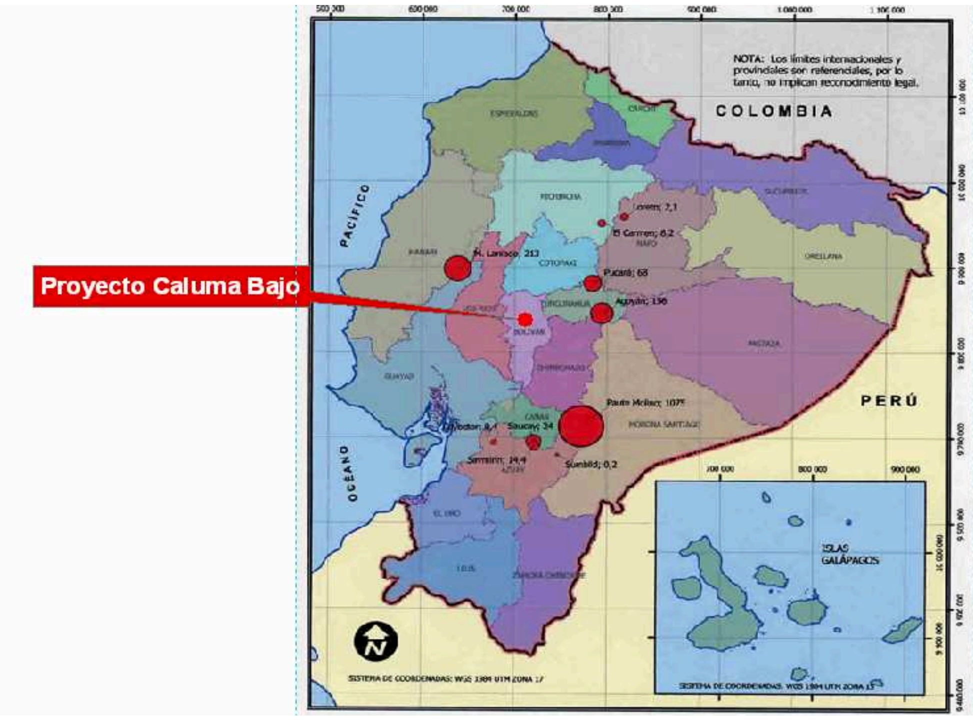


Figura H1

2.2 Características Generales del Proyecto

El proyecto se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Guayas, con sus afluentes más pronunciados que son el río Tablas y el río Escaleras que al unirse formando el río Pita y este a si vez nos permite aprovechar sus caudales naturales.

- Río Tablas (Afluente del Río Pita).

Figura H2

- Río Escaleras (Afluente del Río Pita).

Figura H3

- Río Pita.

Figura H4

2.3 Estudios Hidrológicos

Los objetivos del estudio hidrológico son:

- Determinar el régimen climatológico en el área del proyecto, hacer una clasificación en zonas según la variación espacial de la pluviosidad y el clima.
- Analizar los caudales medios de las corrientes naturales en los tramos de interés del proyecto y determinación de las curvas de duración de caudales diarios, este análisis permite definir la capacidad disponible en las fuentes que suministrarán la demanda y las necesidades de almacenamiento.

- Calcular los caudales de crecientes para el diseño de obras de desviación, drenajes, vertederos de exceso y protección de capacitaciones y conducciones.

2.4 Características Físicas de la Cuenca en Estudio

El río Pita forma parte de la cuenca hidrográfica del río Guayas como subcuencas del sistema fluvial del río Babahoyo.

Las características hidrográficas de la cuenca estudiada, en su parte alta, tiene como cauces principales de drenaje a los ríos Tablas y Escalera que a partir de su confluencia forman el río Pita, entregando sus aguas al río Catarama a la altura del río Babahoyo para desembocar en el Golfo de Guayaquil a través del río Guayas. Las características geométricas de la cuenca estudiada pueden ser representadas por medio de las definiciones de parámetros como el factor de forma, factor de compacidad, área de la cuenca de drenaje, pendiente media, etc. Estos factores que describen la forma de la cuenca fueron obtenidos directamente del estudio hidrológico realizado por el INECEL y comparados con los calculados propiamente con la herramienta ARCMAP estos pueden ser apreciado en el Tabla I.

	Datos Propios	
	Estación Base	Esquema Caluma Bajo
Área de drenaje	378,00	249,30
Longitud del cauce máximo (km)	33,00	26,23
Perímetro de la Cuenca(km)	83,81	73,80
Factor de forma	0,36	0,33
Factor de compacidad	1,24	1,30
Extensión superficial media (km)	5,73	4,61
Pendiente media (%)	16,61	17,17
Precipitación media ponderada (mm)	2000,00	1940,00
Coef. de transposición	1,00	0,66

Tabla I

"Descripción de la Cuenca en Estudio"

De acuerdo a estos estudios hemos podido determinar dos alternativas las cuales vamos a enunciar en el capítulo de alternativas.

2.5 Meteorología

Para el análisis de la meteorología en la cuenca de interés, se observaron los registros pertenecientes a una estación ubicada en la población de "Caluma", por lo que los valores en ella resultan representativos de la región estudiada. También se ha recopilado y procesado los datos meteorológicos de las estaciones "San Simón" y "El Corazón". Los registros constan de promedios mensuales correspondientes a temperatura, humedad relativa, evaporación y precipitación; valores extremos absolutos de temperatura y precipitación máxima en 24 horas en el período correspondiente de 1970 - 1999. Los resultados correspondientes a la actualización de los factores meteorológicos de la estación “Caluma” pueden ser apreciados en el Tabla II. A continuación se presenta los índices meteorológicos resultado de la actualización con registros desde 1970 – 1999.

Tabla II

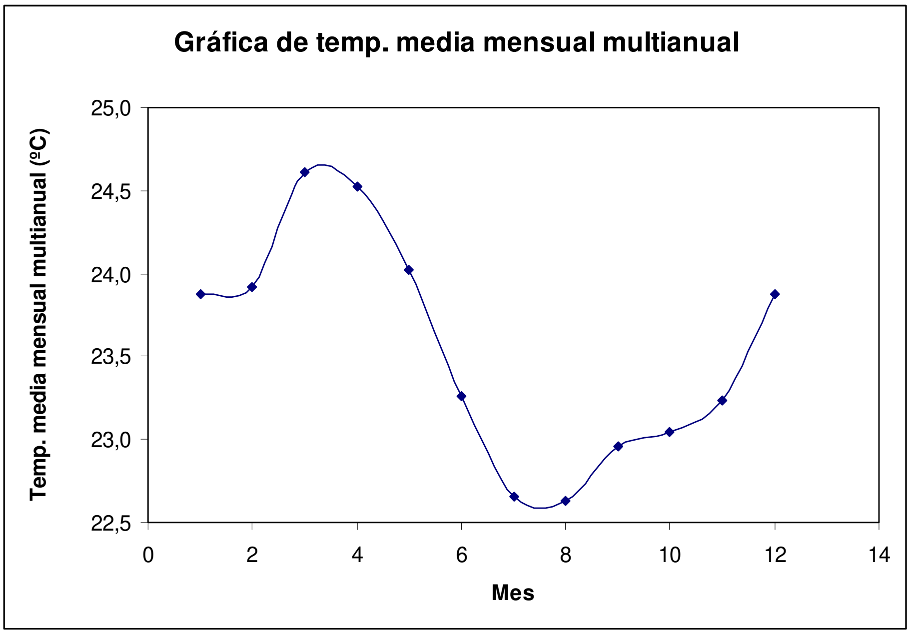
“Promedios Mensuales Actualizados de Registros Meteorológicos Comprendidos entre 1970 – 1999”

ESTACION CALUMA 1970-1999 ***UBICACIÓN: 1:37:07 S-79:17:10 W***												
	ENERO	**FEBRERO**	**MARZO**	**ABRIL**	**MAYO**	**JUNIO**	**JULIO**	**AGOSTO**	**SEPTIEMBRE**	**OCTUBRE**	**NOVIEMBRE**	**DICIEMBRE**
T.mediaºC	23.87	23.92	24.61	24.52	24.02	23.26	22.66	22.63	22.96	23.05	23.23	23.88
T. máx. abs	32.50	33.50	34.50	36.50	32.60	33.20	31.50	31.50	36.50	33.50	36.50	35
T. min. abs	14	14	13.50	17.80	14.00	12.50	13.50	14.50	14.00	14.00	12.60	14.00
Hum.atm ½(%)	81.18	80.31	80.23	80.37	80.84	85.16	81.74	81.87	80.45	80.04	80.18	77.75
Pmax/24horas	202.40	176.40	341.20	147.8	134.6	62.39	69	29.35	60.76	65.10	107.9	110.05
P(mm)	555.10	539.31	678.73	455.25	221.23	81.16	53.47	29.72	57.53	59.18	89.81	214.92
Evap(mm)	47.19	39.27	47	43.89	44.91	35.38	38.52	46.94	49.56	46.50	54.53	59.78

Altitud: 350 m.s.n.m

2.6 Temperatura

Los datos de temperaturas han sido utilizados del estudio anteriormente realizado y se describe de la siguiente manera, la media multianual del período registrado en la estación Caluma (cota 350 m.s.n.m) es de 23.5 ºC. En el Grafica I podemos observar que los valores de temperatura media mensual se mantienen casi constantes a lo largo del año con una máxima diferencia entre los meses de Marzo (24.6 ºC) y Agosto (22.6 ºC).



Grafica 1

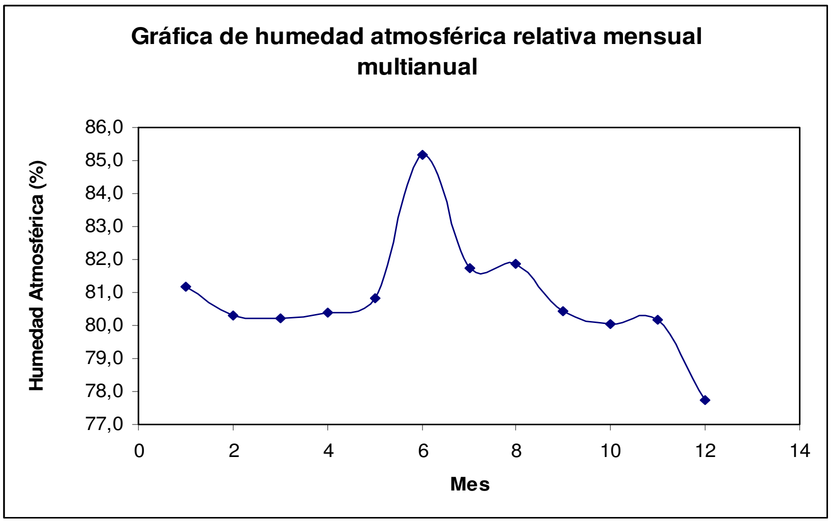
Con respecto a los valores extremos absolutos podemos observar del Tabla II que en los meses de septiembre y noviembre se han registrado una temperatura máxima absoluta de 36.5 ºC, mientras que en el mes de Junio se ha registrado una temperatura mínima absoluta de 12.5 ºC.

De los resultados observados se puede suponer que en la zona de estudio la temperatura media oscila entre 24 y 22 ºC mientras que se podría esperar máximas de 36 ºC y mínimas de 12 ºC.

En las regiones altas de la cuenca la temperatura media se encuentra en el orden de 9.5 ºC con variaciones mas amplias entre las máximas y las mínimas temperaturas absolutas.

2.7 Humedad Relativa

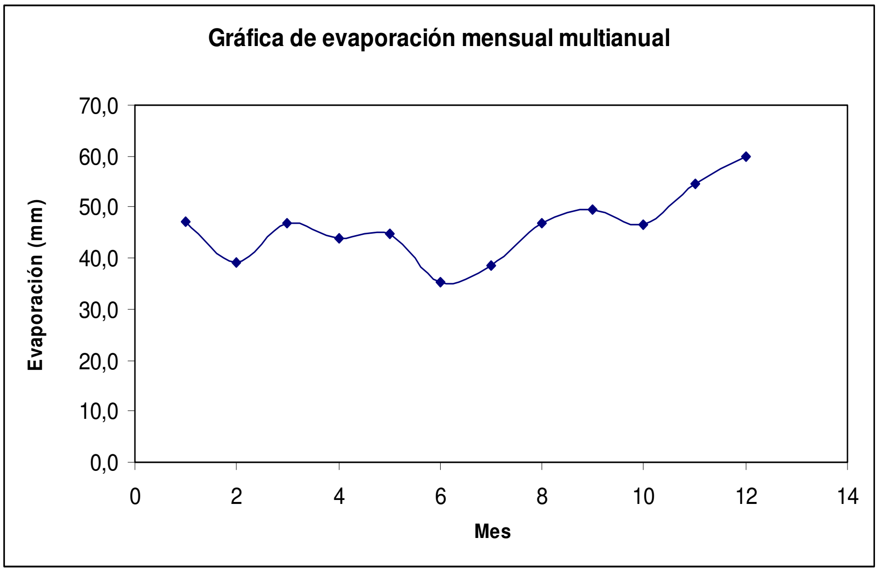
La humedad atmosférica relativa del sitio de interés (estación Caluma) se mantiene más o menos constante a lo largo del año con un valor promedio de 80.8 % con una diferencia máxima entre los meses de Junio (85.1 %) y Diciembre (77.7 %). En la Gráfica 2 y en el Cuadro II podemos observar los resultados de la humedad atmosférica mensual multianual.



Grafica 2

2.8 Evaporación

De acuerdo con el análisis hidrológico, el proyecto depende mucho del esquema del balance hídrico el cual describe que va existir evaporación, por lo tanto los registros de evaporación en la zona de estudio correspondientes a los años entre 1970–1979 (debido a la ausencia de registros correspondientes a los demás años de estudio) de la estación “Caluma”, el índice de evaporación media anual está en el orden de 46.12 mm, con valores máximos en el mes de diciembre (59.7 mm) y valores mínimos en el mes de junio (35.38 mm). En la Gráfica 3 podemos observar como estos valores varían mes a mes, los mismos que se encuentran en el Tabla II.



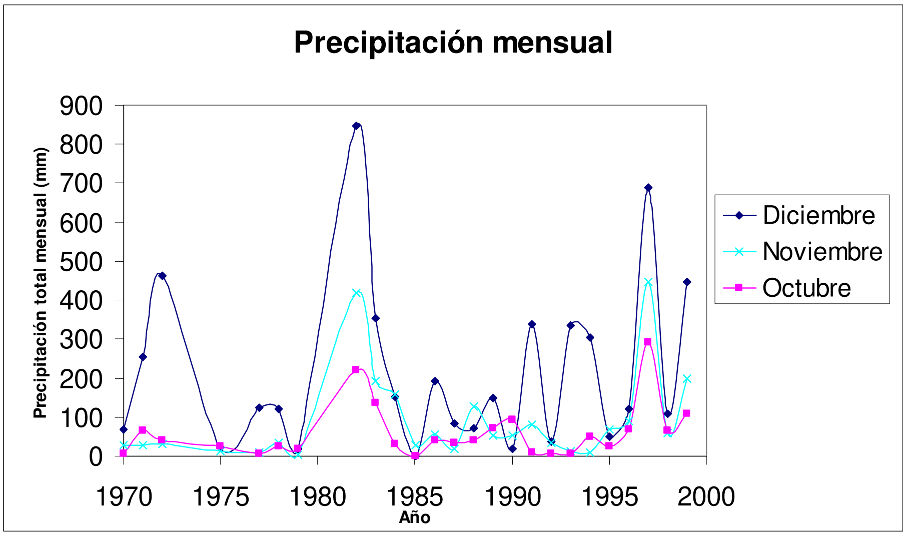
Grafica 3

2.9 Pluviometría

Es de gran importancia el análisis de la pluviometría en un estudio hidrológico, considerando en más detalle con respecto a los otros factores meteorológicos.

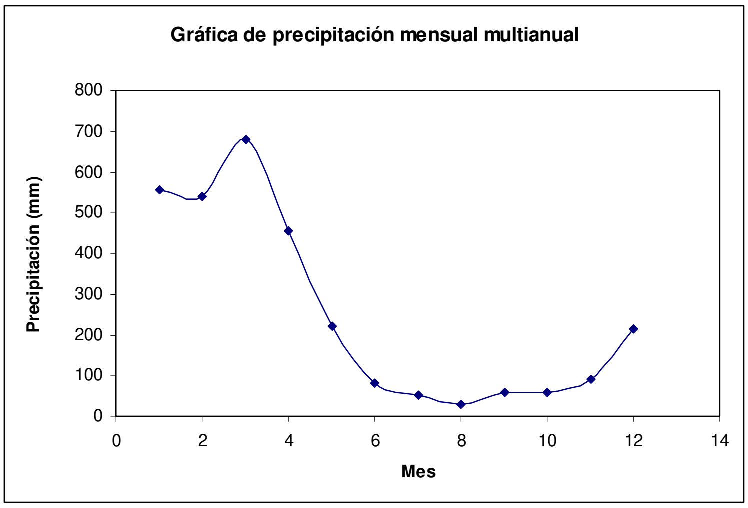
El objetivo principal del estudio de la pluviometría, es establecer la distribución geográfica y cronológica de los valores de lluvia caída sobre la cuenca del Caluma mediante el cual se determina el respectivo coeficiente de transposición de los caudales en la estación hidrométrica de "Echeandía" al sitio de aprovechamiento. Esto hace que para el estudio, es necesario tener conocimientos sobre teoría de hidrología, en base a esto se verificó los promedios mensuales multianuales de la estación "Caluma" así como el respectivo análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas. En base a esto se determinó las precipitaciones medias ponderadas y el respectivo coeficiente de transposición.

Para este análisis pluviométrico se consideró los registros mensuales de precipitaciones, para el período de 1965-1999 de la estación "Caluma" así como, los correspondientes a la estación del "Corazón" para la obtención de registros no existentes mediante la correlación entre las dos estaciones meteorológicas. En la Gráfica 4 podemos observar durante los años de 1982 y 1997 hubieron índices altos de precipitación, lo cual muestra los dos fenómenos del niño en la historia de los registros.



Grafica 4

Los resultados de los promedios mensuales multianuales se presentan en el Cuadro II y en la Gráfica 5 con lo cual podemos observar que, entre los meses de Diciembre a Mayo se presenta la mayor precipitación correspondiendo al período de invierno, además se presentan valores máximo en el mes de Marzo (678.7 mm) y mínimo correspondiente al mes de Agosto (29.7 mm) con una precipitación promedio multianual de 3035.41 mm correspondiente a la estación Caluma.



Grafica 5

En el Cuadro II también se presenta los registros mensuales máximos para el período disponible de los valores de precipitaciones máximas de la estación “Caluma”. El análisis determina que dentro del período de mayor precipitación (Diciembre-Mayo) se ha registrado en la zona, el mayor número de tempestades reflejadas en los valores de precipitación máxima en 24 horas. En la estación “Caluma” se tiene que en promedio el volumen de agua debido a los cinco primeros meses del año corresponde al 80.7 % del volumen total anual, los valores máximos de precipitación en 24 horas superan los 100 mm, habiéndose registrado un máximo de 341.2 mm correspondiente al mes de marzo de 1988. Con los registros máximos anuales de la estación “Caluma”, se procedió a un análisis probabilístico tendiente a determinar el valor de la máxima precipitación en 24 horas que podría ocurrir con una probabilidad dada. Este análisis también incluye el estudio de la distribución de los valores extremos, considerando para este caso la distribución “Gumbel Tipo I”, el cual nos proporciona la máxima precipitación para un tiempo dado de retorno en años. Los resultados indican que, para un tiempo de retorno de 50, 100 y 200 años podría esperarse una precipitación máxima en 24 horas de 265, 295 y 324 mm. Respectivamente.

A continuación en el tabla III se muestra la probabilidad de ocurrencia en la estación de “Caluma”.

Año	Mes	Pmax en 24horas(mm)	Probabilidad (%) p(p>Pm)=m/(n+1)
1970	mayo	131,9	27,59
1971	febrero	87,4	86,21
1972	enero	103,7	62,07
1973	febrero	107,3	55,17
1974	marzo	89,9	79,31
1975	enero	202,4	6,9
1976	marzo	126,9	31,03
1977	marzo	104,2	58,62
1978	abril	120,2	37,93
1979	abril	78,9	89,66
1980	abril	94,1	72,41
1982	noviembre	107,9	51,72
1983	abril	147,8	17,24
1984	marzo	91,7	75,86
1985	marzo	102,4	65,52
1986	abril	124,4	34,48
1987	mayo	134,6	24,14
1988	marzo	341,2	3,45
1989	febrero	176,4	13,79
1991	marzo	89,1	82,76
1992	enero	200,5	10,34
1993	febrero	94,2	68,97
1994	enero	120,2	41,38
1995	abril	110,6	44,83
1996	enero	74,04	93,1
1997	diciembre	69,25	96,55
1998	mayo	108,34	48,28
1999	marzo	141,55	20,69

Tabla III

“Probabilidad de Ocurrencia en Caluma”

2.10 Hidrometría

Se define a la hidrometría como parte de la hidrología que tiene por objeto medir el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo dentro de una sección transversal de flujo, a parte comprende el planear, ejecutar y procesar la información que se registra de un sistema de riesgo, sistema de una cuenca hidrográfica, sistema urbano de distribución de agua.

2.11 Generalidades

El estudio hidrológico de la cuenca en cuestión, cuenta con los registros de niveles tomados desde el año 1965 al 1999 en la estación "Echeandía" sobre el río "Echeandía" que han sido publicados en los anuarios del INAMHI.

Esta estación hidrométrica que se encuentra en el río "Saloma" ha registrado los niveles correspondientes al escurrimiento de 378 Km^2, siendo sus principales a portadores los ríos "Chazo Juan" y "Limón del Carmen".

Debido a la ubicación de la cuenca "Echeandia" y las características afines encontradas entre las cuencas de "Echeandía" y de "Caluma", el estudio de los datos provenientes de esta estación se extiende también para la cuenca del "Caluma" en el punto de captación del proyecto. Por esta razón solamente se han utilizado los registros de la estación "Echeandía" en Echeandía, por lo que de aquí en adelante solo se hará referencia a las estadísticas relacionadas con esta estación.

La estación en cuestión fue instalada en 1964 por lo que se posee registros de niveles desde ese año. En 1972 debido a una creciente alarmante quedó averiado el carro de aforos y la sección hidráulica se modificó, sin embargo se siguieron registrando los valores de niveles. En 1978 la estación fue reubicada aguas abajo.

2.11.1 Caudal Ecológico

Debido al impacto ambiental que se produciría al tratar de aprovechar el recurso hídrico para la producción de energía eléctrica y como las normativas ambientales lo enuncian, se les debe dar a los centros poblados cercanos o afectados directamente al menos un 10% del caudal tomado para la producción de energía eléctrica o caudal de diseño, para este caso el caudal ecológico del proyecto "Caluma Bajo" es de 1.25m3/seg. Los centros poblados más cercanos al proyecto son:

- Caluma a 10Km del proyecto.
- Telimbela a 14Km del proyecto.

- Catarama a 33Km del proyecto.
- Ricuarte a 33Km del proyecto.
- Juan Montalvo a 35Km del proyecto
- Pueblo viejo a 40Km del proyecto.
- Guaranda a 38Km del proyecto.
- Babahoyo a 60Km del proyecto.

2.12 Obtención de Caudales de la Estación Base y los Caudales Mensuales de la Estación de Interés

Para la obtención de caudales de la estación base es necesario completar los datos faltantes por los antecedentes antes mencionados, para lo cual se utilizaron programas computacionales sencillos, basados en la aplicación del principio de "mínimos cuadrados" o mediante cálculo analítico gráfico.

Para efecto del estudio realizado se tomó la tabla de caudales de la estación base completa, obtenida de los estudios anteriormente realizados.

Por la afinidad de la cuenca de “Echeandia” y la cuenca de “Caluma”, podemos usar un factor que nos permita transponer los caudales de la estación “Echeandia” a la estación “Caluma”.

El coeficiente de transposición lo obtuvimos relacionando el producto del área de interés y la precipitación media ponderada con el producto del área base y la precipitación media ponderada de la base.

$$Coef\_transp = \frac{A_i \times Pmp_i}{A_b \times Pmp_b}$$

Con este coeficiente de transposición obtenemos la tabla de caudales de la estación de interés que se puede apreciar en la tabla V.

En la siguiente tabla VI se presentan los valores de duración de caudales mensuales de la estación “Caluma” con su probabilidad de ocurrencia.

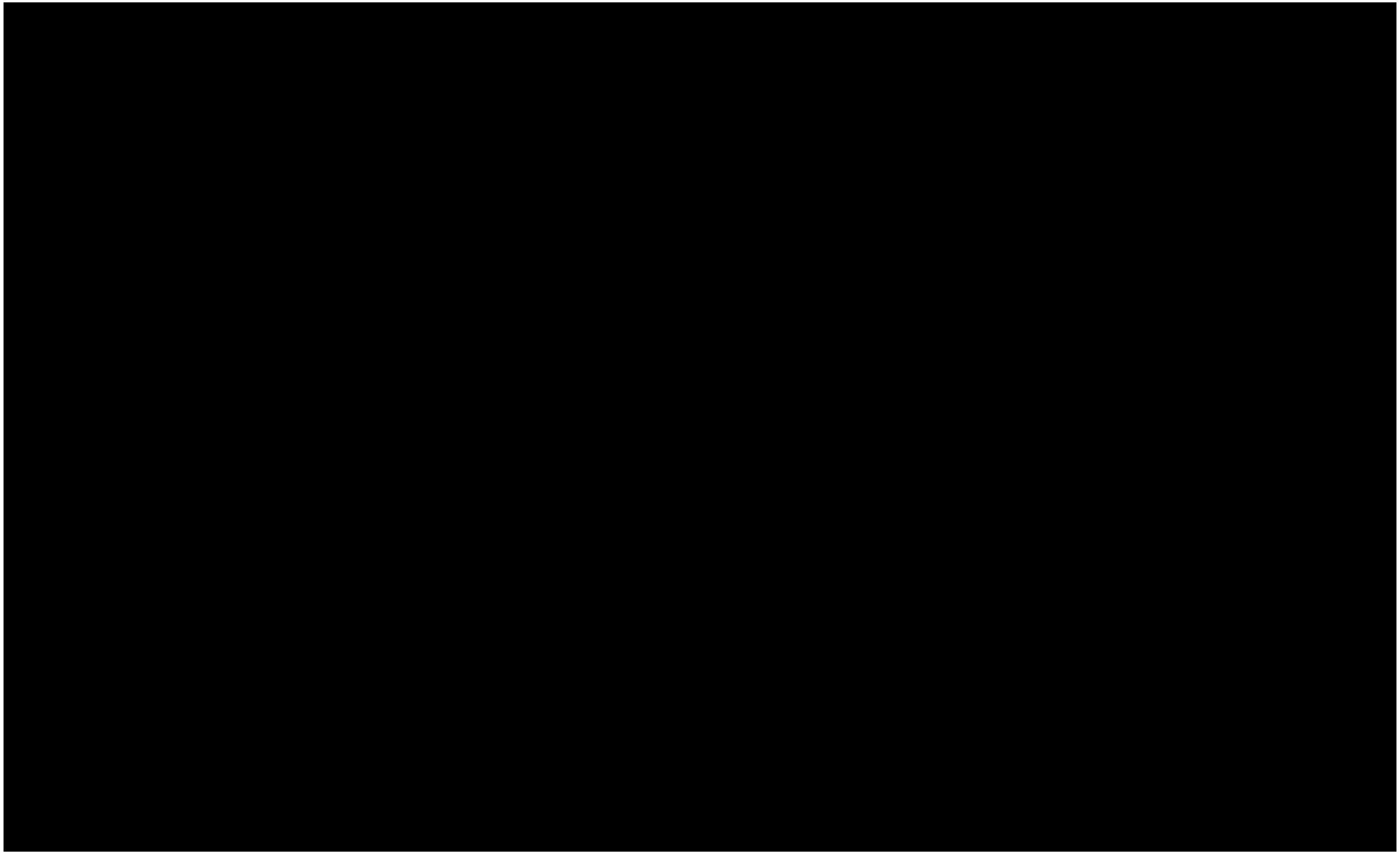


Tabla IV

“Tabla de Caudales Mensuales de la Estación Caluma (m3/seg)”

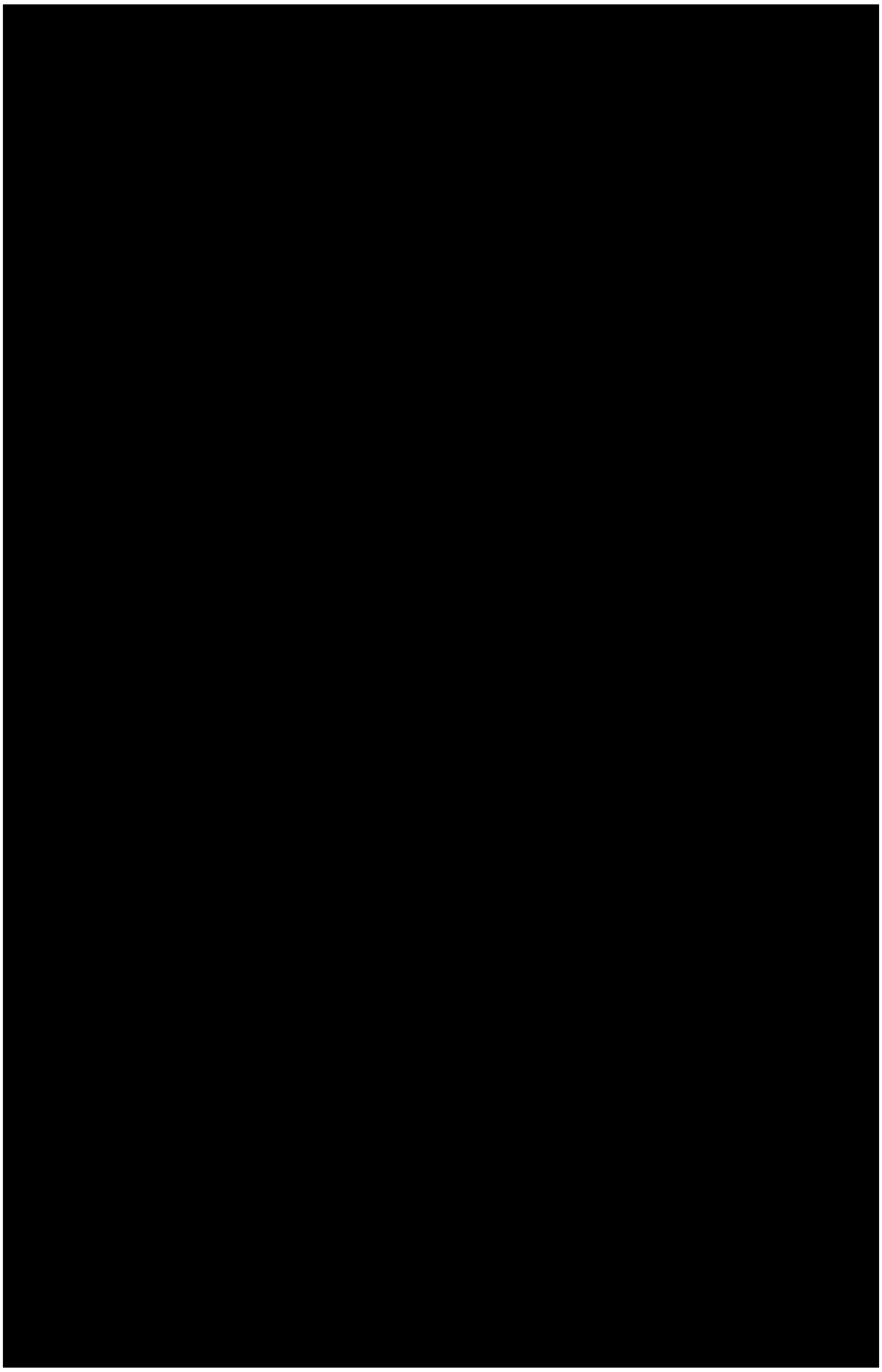
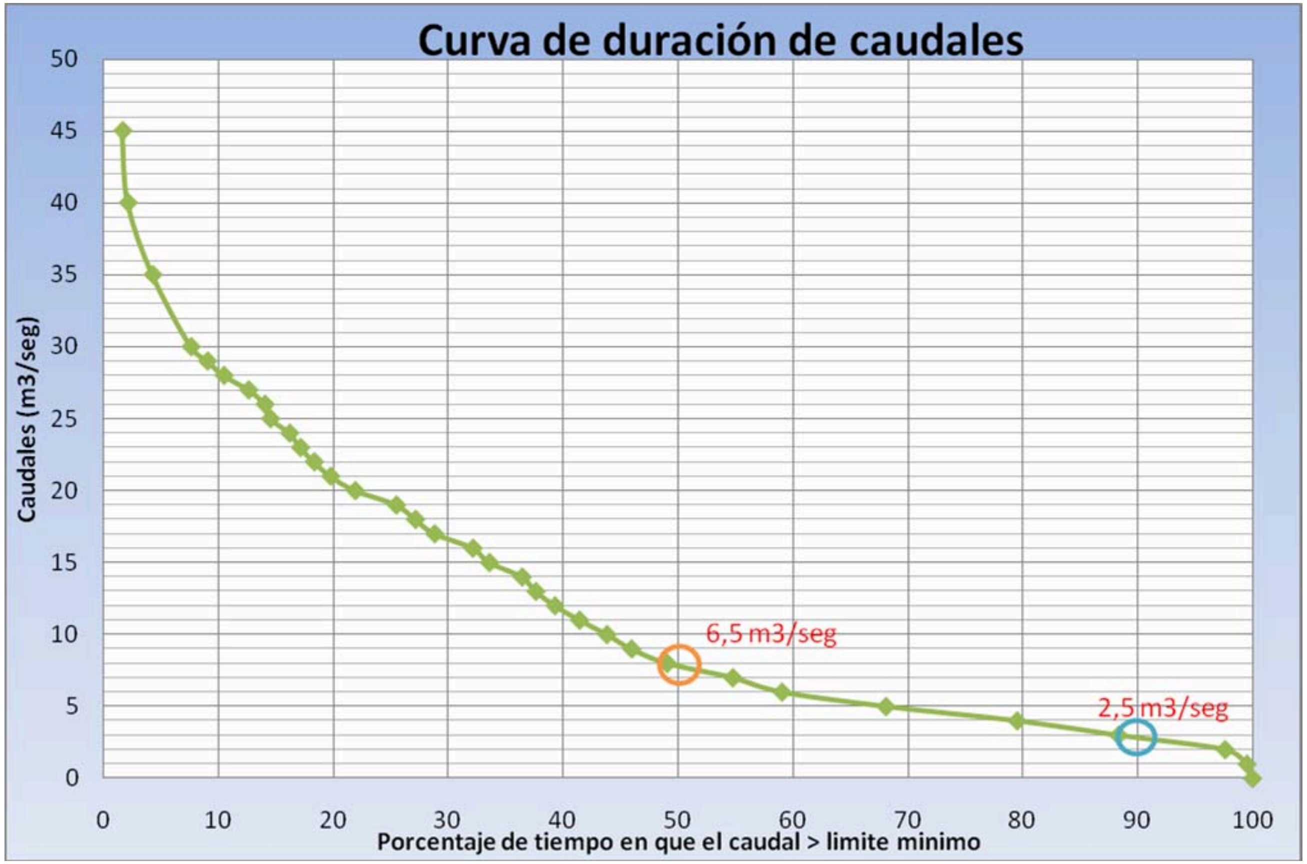


Tabla V

“Tabla de Duración de Caudales Mensuales de la Estación Caluma (m3/seg)”



Grafica 6

"Curva de Duración de Caudales"

2.12.1 Análisis de la Curva de Duración de Caudales

La grafica 6 representa la curva de duración de caudales, la misma que ayudara a entender la hidrología propia de la cuenca de interés, la cual se describe de la siguiente manera:

- El caudal que tiene la probabilidad del 50 % de ocurrencia es a igual 6,5 m3/seg.
- El caudal que tiene la probabilidad del 90 % de ocurrencia o caudal firme es igual a 2,5 m3/seg.

Con estos parámetros y tomando en cuenta un caudal promedio o medio de la tabla de duración de caudales igual a 12 m3/seg, se podría diseñar el aprovechamiento mas optimo del recurso para producción de energía eléctrica.

Basándose en la teoría hidrológica del caudal de diseño que aprovecha mejor el recurso para la producción de energía eléctrica, debería ser tomado de un valor que este entre el caudal medio y el caudal que tiene el 50% de probabilidad de ocurrencia.

En función de lo antes mencionado y conjuntamente con el análisis realizado en la curva de duración de caudales, se escogió el caudal de 12 m3/seg para efecto de diseño de todo lo referente a este parámetro en el estudio que se realizo.

.

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA

3.1 Introducción

El estudio Geológico del proyecto “Caluma Bajo” fue realizado por INECEL, y este estudio es de importancia debido a que se debe de tomar en consideración las características de los suelos en los cuales se implantarán las diferentes obras del proyecto, por decir algunas: casa de máquinas, conducción, etc. Entonces, con el objeto de tener una idea general del estudio geológico del proyecto “Caluma Bajo” a continuación se presenta un resumen general el cual ha sido obtenido de los estudios de INECEL.

3.2 Información Analizada

La información analizada por el INECEL en la parte correspondiente al estudio geológico es la siguiente:

- Geología General de la Cuenca del Río ´´Guayas´´ (PLAN MAESTRO, INECEL).
- Hojas Geológicas de “Guaranda” y “Alausí”, escala 1:100.000. Dirección General de Geología y Minas (DGGM), de 1975 y 1979, respectivamente.
- Fotos aéreas del IGM, escala 1:60.000.
- Zonificación preliminar de características geológicas y geotécnicas que incluyen:
    - Litología
    - Geomorfología
    - Estructuras Mayores
    - Estabilidad en Taludes.

3.2.1 Investigaciones de Campo

La investigación de campo se realizó en dos etapas: la primera consistió en un viaje de inspección al área de Caluma; mientras que la segunda consistió en un mapeo complementario del estudio foto-geológico de las mismas áreas.

El mapeo complementario del estudio foto-geológico consistió en:

- La comprobación de la información geológica disponible.
- Delimitación de rasgos geomorfológicos.
- Localización e identificación de afloramientos rocosos y mediciones puntuales de rumbos, buzamientos, descripción litológica, grado de

meteorización, etc.

- Localización de Manantiales que atravesarían los canales.
- Localización y descripción somera de fuentes de materiales de construcción.

3.3 Rasgos Geológicos Regionales

La geología del Ecuador corresponde a una serie de zonas litológicas y estructuralmente distintas de orientación sensiblemente Norte-Sur.

Estas zonas son, de Oeste a Este:

- Zona Litoral
- Cordillera Occidental
- Depresión Interandina
- Cordillera Oriental
- Zonas de Escamas
- Cuenca Oriental

En la vertiente Oeste de la Cordillera Occidental, sector donde se encuentra el proyecto “Caluma”, está formado por rocas esencialmente piroclásticas que se presentan en las vecindades de Caluma como “Formación Macuchi”, la cual esta intrusionada por rocas ácidas e intermedias.

3.3.1 Litología

Las formaciones encontradas corresponden básicamente a los siguientes componentes:

- Un basamento rocoso, constituido por las Formaciones “Macuchi”.
- Intrusiones ácidas a intermedias.
- Materiales detríticos cuaternarios.

La formación “Macuchi” es de origen predominantemente volcánico, caracterizado por lavas y rocas volcano-clásticas. Se estima que la formación tiene 6000 m en el área “Caluma-Echeandía” y la pirita diseminada es característica en ella. En lo que se refiere a los intrusitos, estos han sido identificados principalmente como rocas graníticas, aunque existen variaciones locales que ocupan una gama tan amplia como la escala granito-microdiorita. En la hoja geológica de “Guaranda” se distinguen dos cuerpos intrusitos a diferentes alturas: el batolito de “Puroloma” y el de “Caluma-Echeandía”. El batolito “Caluma-Echeandía”, ocupa un área de 400 km2 aproximadamente y aflora en cotas generalmente inferiores a 600 m y se caracteriza por una potente cobertura residual.

Las formaciones cuaternarias comprenden a:

- Terrazas indiferenciadas.

- Depósitos Coluviales recientes.
- Depósitos aluviales recientes.

Las terrazas indiferenciadas son potentes acumulaciones de detrito de origen volcánico, consistentes en cenizas, limos, arenas y cantos rodados.

Los depósitos aluviales recientes corresponden a terrazas fluviales alineadas con los cauces actuales de los ríos. Constituyen parte del lecho de la inundación.

Los depósitos coluviales, aparecen principalmente como acumulaciones a pie de monte, con desarrollo y ubicaciones variables, y muestran frecuentemente un potente desarrollo residual.

3.3.2 Estructuras

La vecindad de Caluma tiene poca actividad sísmica, y se encuentra a menos de 50 Km al sistema de fallas del Río “Chimbo”. Otro rasgo tectónico importante es la alineación N-S de cuerpos intrusivos, dos de los cuales afectan directamente al proyecto “Caluma”.

3.3.3 Geomorfología

El aprovechamiento “Caluma” se encuentra ubicado en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, con características de topografía abruptas, ríos angostos y profundos, encañonados con corte típico en “V” que atestiguan el levantamiento continuo en la región. El río “Caluma”

tiene su cabecera en el flanco Oeste de la Cordillera de “Chillanes” y drena cuenca relativamente pequeña y únicamente en terrenos de la formación “Macuchi” e intrusivos.

3.4 Descripción Geológico-Geotécnicas del Esquema “Caluma Bajo”

Las alternativas de aprovechamiento en “Caluma” se ubican en el río “Pita” y sus afluentes, los ríos “Tablas” y “Escaleras”, los mismos que tienen sus cabeceras en el flanco Oeste de la Cordillera de “Chillanes”, un ramal N-S de la Codillera Occidental. El río “Pita” es un afluente del río “Catarama”, tributario del río “Babahoyo”. Las cotas de las cabeceras exceden los 3000 m mientras que los aprovechamientos propuestos entre las cotas 400 y 800 m con la utilización simultánea de las aguas de los ríos “Tablas” y “Escaleras”, y la reutilización de las mismas en el río “Pita”.

3.4.1 Litología

El lecho rocoso está constituido por la Formación “Macuchi” y el sector meridional fragmentado del Batolito “Puruloma”. Los componentes de la formación “Macuchi” son, en esta región: lavas y rocas volcanoclásticas variadas. La pirita diseminada en la formación” Macuchi” podría ocasionar, por hidrólisis, corrosiones en el hormigón.

Los depósitos coluviales son potentes a pie de talud; están constituidos básicamente por derrubios que incluyen ocasionalmente bloques de varios metros de diámetro. Los depósitos aluviales contienen altos porcentajes de cantos rodados y bloques, en matriz de arena fina limosa.

Los suelos residuales son pocos profundos, se han desarrollados en los antiguos coluvios y en mayor grado en las rocas ígneas.

3.4.2 Estructuras

La fracturación en las rocas del proyecto “Caluma” es intensa y frecuente. El sistema de fallas activas del “Río Chimbo” se ubica a menos de 50 Km de los aprovechamientos propuestos, pero los epicentros más próximos al proyecto se ubican en el “Río Zapotal”, a unos 25 Km de distancia, con magnitud 5º (Richter), y uno de ellos se ubica a menos de 5 Km de “Echeandía” (10 Km al Norte de Caluma) con magnitud (Richter)

3.4.3 Geomorfología

El río “Escaleras” fluye por un lugar muy estrecho hasta muy cerca de “Pasagua”, donde el valle comienza a ensancharse hasta alcanzar varios cientos de metros. El río “Tablas” se une al río “Escaleras” cerca de “Charquiyacu”, para formar el río “Pita”. El relieve del terreno es abrupto y presenta superficies muy rugosas que refleja el gran fracturamiento de la roca. El drenaje es paralelo, se contabiliza un promedio de 6 cauces afluentes por kilómetro a lo largo de los ríos “Tablas y Escaleras”.

El perfil de meteorización es poco desarrollado, al parecer asociado al relieve abrupto y fuertes pendientes que presentan continuamente superficies frescas sin permitir un gran desarrollo del suelo residual, a pesar del fracturamiento intenso de la roca.

3.4.4 Aspectos Geotécnicos

Las obras de derivación podrían ubicarse en aluviales muy gruesos o en roca fresca. En ambos casos se deberá impermeabilizar las cimentaciones y los estribos para evitar filtraciones.

Los canales serán excavados indistintamente en suelos residuales y coluviales, pero también en roca, generalmente fracturada y fresca a medianamente meteorizada. Los canales deberán ser revestidos, aún en caso de ser excavados en roca, para prevenir filtraciones en diaclasas y planos de estratificación, meteorizados o no.

Las casas de máquinas que se proponen serán construidas en aluviales, en los cuales se recomienda cimentaciones en zapatas. Aunque no se espera encontrar el lecho rocoso cerca de la superficie en estas áreas, se procurará ajustar las alineaciones de canales y tubería de presión a los sitios rocosos.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCION ALTERNATIVAS

4.1 Introducción

El área de drenaje de la cuenca de estudio “Caluma ” en Bolívar tiene forma de hoja, contando con sus dos afluentes principales que son el rio “Tablas” y el rio “Escaleras” (ver figura H5) el cual se convierte en el río Pita.

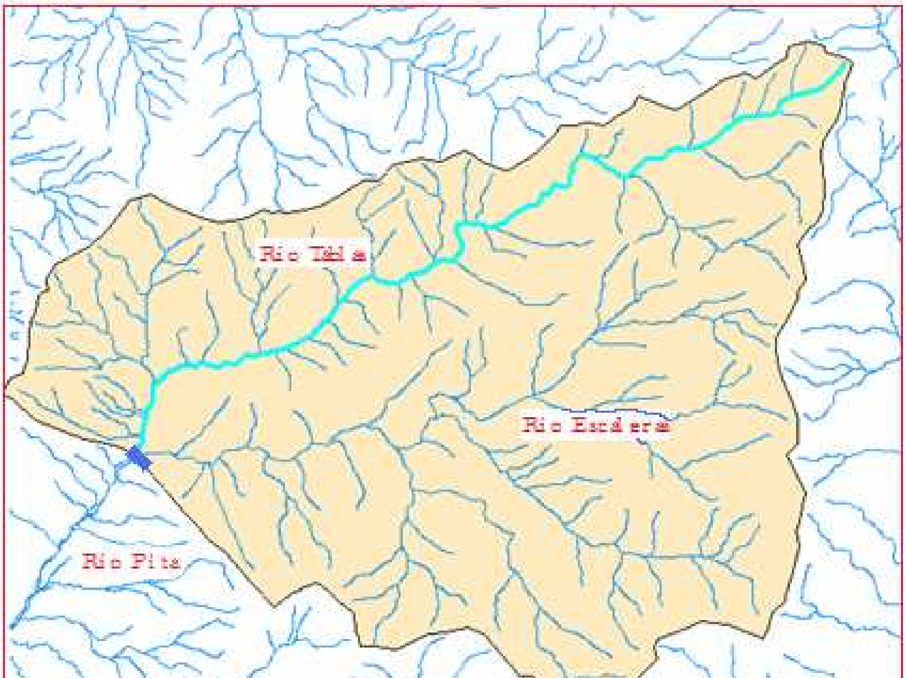


Figura H5

4.2 Descripción del Área en Estudio de la Alternativa 1

La ubicación de la toma de la alternativa 1 es en la cota 495 m.s.n.m, con una área de drenaje de 249.30 km^2, con precipitaciones medias ponderadas de 1940 mm, y un perímetro de la cuenca de 40 km^2.

En esta alternativa, la conducción de agua desde la toma hasta la casa de maquinas será llevado a cabo en canales a través de la montaña. Se debe recalcar que no es posible realizar toda la conducción a través de la montaña debido a que existen dos tramos con desniveles de 80 y 40 m. Por esta razón surge la necesidad de utilizar puentes para así llevar a la misma cota de cierre la conducción. Estos puentes tienen una longitud de 1749,13 y 792 respectivamente. La restitución se realiza en la cota 240 m.s.n.m.

En esta alternativa, las poblaciones afectadas por la conducción del agua desde la toma hasta la casa de maquina son:

- Caluma
- Caluma Viejo
- Caluma Nuevo
- Guayabal

Cabe recalcar que estas poblaciones afectadas contarían con el caudal ecológico del proyecto y pequeños afluentes del rio “Pita”.

4.2.1 Características

En esta alternativa la cota de cierre es a 495 m.s.n.m, la cota de restitución es a 255 m.s.n.m, la caída neta es de 237.15 m con un caudal de diseño de

12 m^3 /seg, la potencia instalada es de 16MW.

La conducción es de 17.19 Km con una longitud de tubería de presión de 1.987 Km. A continuación en la tabla VII se muestra las característica de la alternativa 1.

Cota de cierre (msnm)	495
Cota de restitución (msnm)	255
Caída neta (m)	237,15
Coeficiente de perdidas Kp	0,1239
Caudal de diseño (m3/s)	12
Caudal firme (m3/s)	2.9
Potencia Instalada (MW)	16
Conducción (km)	17,19
Tubería de presión (km)	1,987

Tabla VI

“Características de la Alternativa 1”

En la figura H6 podemos observar la conducción del agua desde la toma hasta la casa de maquinas.

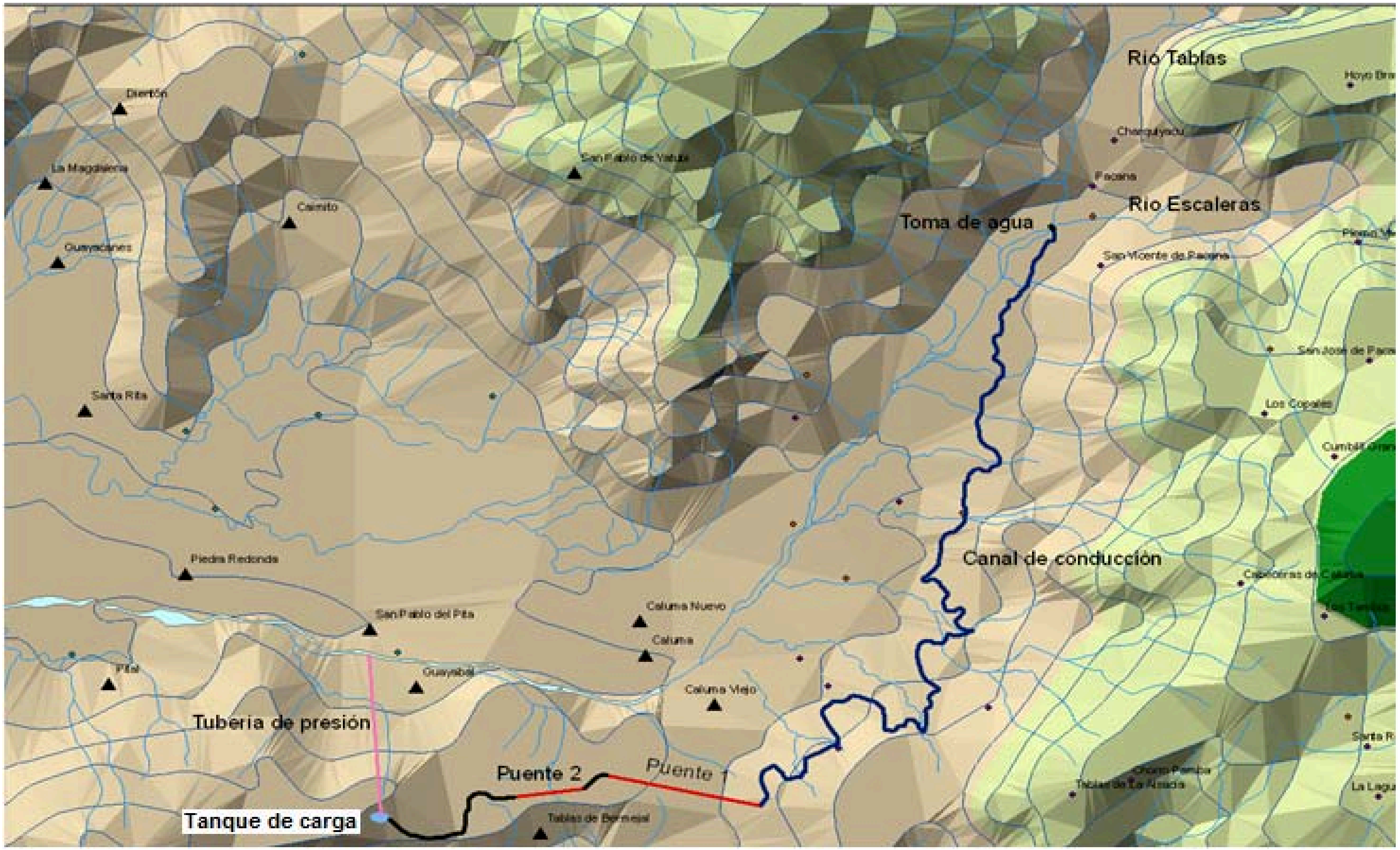


Figura H6

Conducción del Agua desde la Toma hasta la Casa de Maquinas.

4.3 Descripción del Área en Estudio de la Alternativa 2

El análisis de la alternativa 2 muestra similitudes en las características con el de la anterior tales como:

- Área de drenaje.
- Perímetro.
- Precipitaciones
- Cota de la captación.

La diferencia radica en:

- Cota de restitución.
- Coeficiente de pérdidas.
- Potencia instalada.
- La conducción es a través de la montaña por medio de canales.
- Embalse de 115000 m^3 para mejorar la producción en los periodos de estiajes.

4.3.1 Características

En esta alternativa la cota de cierre es a 495 m.s.n.m, la cota de restitución es a 357.5 m.s.n.m, caída neta de 127.83 m.

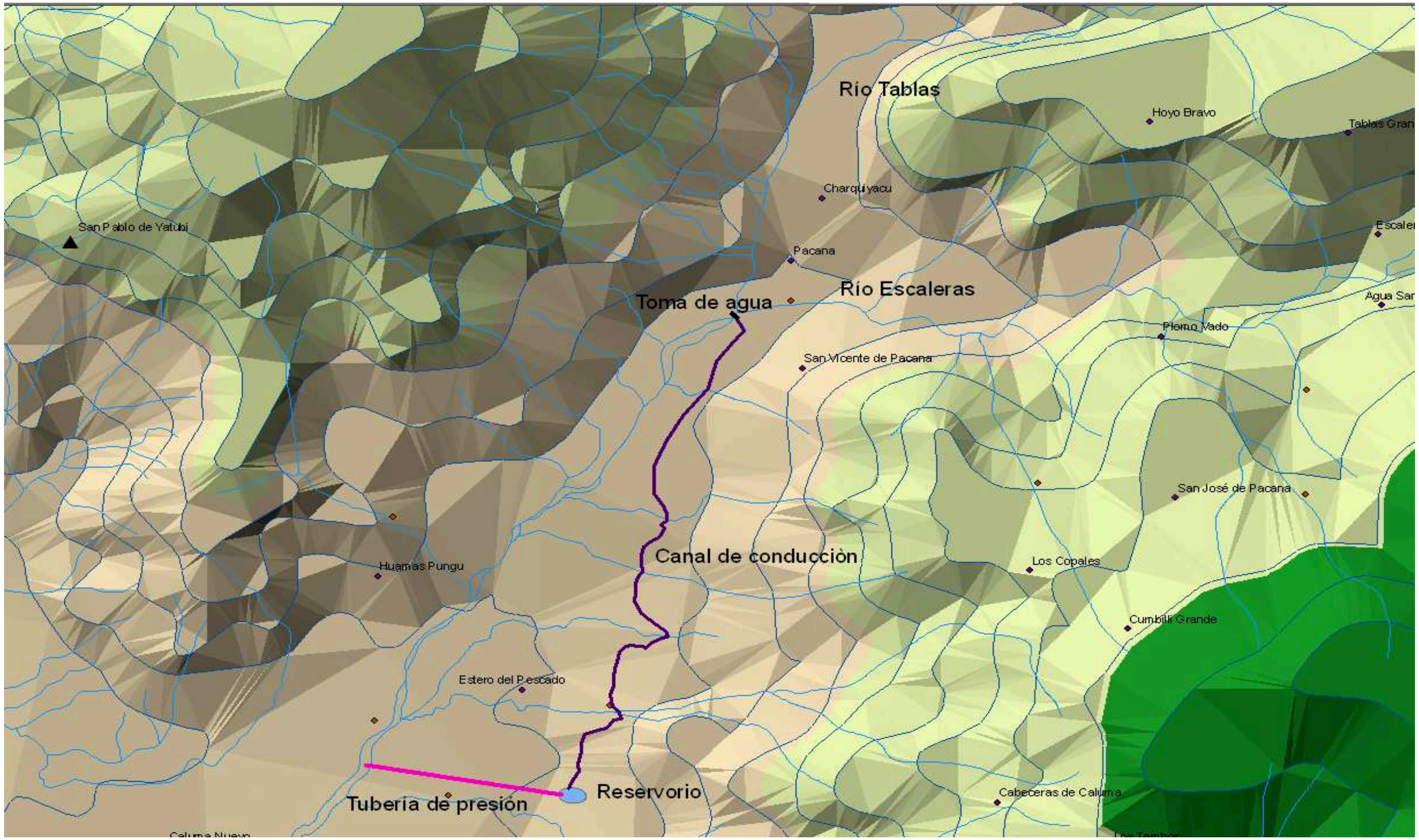
Potencia instalada de 12Mw, con una conducción de 5.451 Km y una longitud de tubería de presión de 1.618Km. A continuación en la tabla VIII se muestra las características de la alternativa 2.

Cota de cierre (msnm)	495
Cota de restitución (msnm)	357,5
Caída neta (m)	127,83
Coeficiente de perdidas Kp	0,066
Caudal de diseño (m3/s)	12
Caudal firme (m3/s)	2.9
Potencia Instalada (MW)	12
Conducción (Km)	5,451
Tubería de presión (km)	1.618

Tabla VII

“Características de la alternativa 2”

En la figura H7 podemos observar la conducción del agua desde la toma hasta la casa de maquinas.


Río Tablas
Hoyo Bravo
Charquiyacu
San Pablo de Yatubi
Pacana
Río Escaleras
Toma de agua
Plomo Vado
San Vicente de Pacana
San José de Pacana
Canal de conducciòn
Huamas Pungu
Los Copales
Cumbilli Grande
Estero del Pescado
Reservorio
Tubería de presión
Cabeceras de Caluma

CAPÍTULO 5

PRODUCCIONES ENERGETICAS

5.1 Introducción

El análisis de las producciones energéticas es una herramienta muy importante en el tema del diseño de proyectos hidroeléctricos, debido que nos permite determinar la rentabilidad del proyecto en su tiempo de vida útil.

Generalmente la vida útil de este tipo de proyectos es de 50 años, en base a lo mencionado con anterioridad el estudio consiste en proyectar a futuro lo que podría generar la central, tomando en cuenta los registros históricos de los caudales mensuales promedio de los ríos de las aguas que se desea aprovechar.

En el capítulo 3 se determino la tabla de los caudales mensuales promedios tomados en un registro cuyo periodo es 1965-1999.

Para el cálculo de las producciones energéticas se utilizo la herramienta informática EXCEL, el cual nos permitió operar en hojas de cálculos donde se incluye diversas funciones lógicas, matemáticas como parte de un mejor entendimiento en el análisis de resultados.

En este estudio se obtienen datos como energía mensual promedio producida, potencia mensual pico disponible, caudales turbinados, producción firme, entre otros.

5.2 Metodología de Cálculo

El primer pasó y como precedente de la conservación del medio ambiente a la tabla de caudales mensuales promedios se le resto el caudal ecológico enunciado en el capítulo 3 de este documento, el cual corresponde a un valor de 1,25 m3/seg.

El segundo paso es calcular el coeficiente de perdidas hidráulicas Kp por medio de la siguiente relación:

$$\mathbf{Kp\ \ 0.07XHb/Qdis^2}$$

Hb: Altura bruta.

Qdis: Caudal de diseño.

Los valores de pérdidas para las dos alternativas se encuentran en el capítulo 4 descripción de alternativas.

De aquí en adelante se procederá al análisis de la alternativa de interés que en este caso es la alternativa 1.

El tercer paso es determinar los caudales turbinables de acuerdo con el diseño de las turbinas y sus eficiencias.

A continuación se muestra la tabla IX correspondiente a los caudales promedio mensuales con los valores ya restados del caudal ecológico.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	15,3248641	27,14897265	34,26407756	49,72116435	43,0860539	18,49533844	9,567655248	5,4561524	4,369431881	3,886325645	4,666176908	4,090196621
1966	12,85216098	23,42608769	20,31954939	13,66348573	9,832198217	6,631552087	4,814644751	4,060189894	2,1483327	2,099035934	1,670439846	1,983339474
1967	10,56454565	17,88875904	16,56122208	10,82339095	8,35919542	6,092465834	4,1959665	2,434750118	1,818434697	1,595027254	1,222246279	1,443442448
1968	5,380594967	11,55493278	13,43550474	12,7543792	6,245511201	4,287453106	2,502088579	1,772744071	1,469237042	1,441620458	1,185599746	1,503188064
1969	5,314042426	7,773905132	13,12844019	24,81648929	15,02340854	-1,255287507	5,868401403	4,662467777	3,727972556	1,541982475	1,541982475	2,907018285
1970	11,1175508	16,71604198	14,64957409	19,60899529	17,75926236	8,757938398	5,267422387	4,504082891	3,928909503	2,74384418	2,01007979	3,156172311
1971	8,178058964	19,04355918	26,66112276	17,41574141	8,710130884	5,449914138	3,714811598	2,419011779	1,99305672	1,738788523	1,452405518	2,538796881
1972	14,00988892	18,01169904	35,72001186	27,19798555	16,15377532	17,27715095	12,40918147	8,858240486	7,444836566	6,806040746	6,356749932	11,60886056
1973	19,16406821	26,68795478	20,53069718	22,11997785	15,6738535	9,295162685	5,99737675	4,363185549	3,937777968	3,571361328	3,031491179	3,331141492
1974	6,394994217	15,67997075	18,30991792	10,88334394	11,5551161	6,499001398	4,614492791	3,462257912	2,977557625	3,074817845	2,89880012	6,344576079
1975	14,71588583	24,12072192	22,56690655	22,27139929	14,0933291	9,135921101	6,015589507	4,444660153	3,624053995	3,385518392	2,851643281	2,90980162
1976	13,80274765	26,47353747	26,92481802	23,39489539	16,04538283	9,522139099	6,115446089	4,286069975	3,367814594	2,674103388	2,612813334	4,122474572
1977	9,869799687	15,69754429	19,54171952	17,58227145	10,13596974	6,061836583	4,264617558	3,332304156	2,809000774	2,408064958	1,884734511	2,410360152
1978	9,372253122	15,57706032	18,04539358	19,26843494	13,43115871	7,112286622	4,570628308	-0,29137866	0,27930638	2,526178602	2,02624751	3,142326591
1979	8,376093929	16,81174565	29,02693462	9,110483481	9,038484884	8,096702459	4,522223612	3,302883636	2,76893581	2,406107439	1,781429083	3,913975728
1980	3,933732972	21,44317569	17,14955299	30,92106903	19,65511472	9,867348954	5,389059244	3,700109167	2,625010996	2,208346154	1,884702168	5,794478679
1981	7,848566517	28,27372164	27,31900476	21,2724645	29,24290393	5,866805715	4,752969352	4,159887653	3,827183284	3,856114099	3,899510321	4,17435306
1982	12,434253	25,0248599	19,26159793	15,70237967	9,955002698	6,128101402	4,932078221	3,295296983	2,80936947	4,48907176	21,43808016	34,55058273
1983	45,71100624	44,82328094	45,73299688	45,32011688	52,46789965	15,05896222	17,9757025	10,40058993	7,560586797	7,10529401	6,224851622	0,738016519
1984	12,16260639	31,76205239	41,16166488	28,54066536	16,94522861	7,439460356	5,359695518	3,709882787	5,380731663	2,611593702	1,707670336	4,943866579
1985	13,54741685	15,38367547	27,40966751	15,36247574	11,32983397	5,976220167	4,376868762	3,668063804	3,335359436	4,790076501	4,592559673	3,219636177
1986	12,69447797	19,37749614	17,84416297	22,63221279	12,94038989	6,098252232	4,159887653	3,248566992	3,42215188	3,36429025	3,234101585	3,147309141
1987	16,36819925	28,87143834	36,0012794	32,24969475	26,73314441	10,1643734	4,420163454	2,771958226	1,634095269	1,054308857	1,080997698	1,471002523
1988	13,1068538	31,06904703	22,7507373	23,00514934	20,49871099	6,802621868	3,558305947	2,081996399	1,317713625	0,968296717	0,71499042	0,934841359
1989	15,95226502	35,97628538	35,06182624	30,73904443	18,8505522	8,268423512	5,128878598	3,283236467	2,423706707	2,537739069	3,402873864	3,340802106
1990	4,841894925	18,23405273	15,09644	20,14832338	12,62655761	6,565792559	4,012610199	2,687086151	1,860599262	1,581135167	1,228315979	2,665094988
1991	7,389486529	25,79453968	23,4454833	19,99854784	14,44556116	7,059242666	4,237138563	2,699289904	1,944723278	1,476411142	1,279354077	2,808552989
1992	17,13790324	32,1454312	48,41913185	37,98992309	31,59631327	15,97410161	6,165106085	3,120636397	1,65890083	1,084943065	0,849641544	1,252362783
1993	5,711808388	32,28059607	37,23570114	35,6772628	20,41903916	8,003040175	3,748822058	2,29851637	1,582800912	0,849577244	3,486692141	2,15241465
1994	13,56212015	29,07083993	25,35752074	29,89779041	15,59233245	5,327244672	2,300059573	1,283946054	1,033357732	0,472135482	0,376564055	2,912046775
1995	13,09167654	25,59953058	13,0769776	14,74824117	7,653965897	4,727937338	3,227204967	2,816938811	1,328025689	0,837877971	0,876260391	1,028966652
1996	6,344511137	29,2674299	24,93011876	18,0820598	9,95528821	4,540106136	3,09269282	1,247628251	0,780693756	0,605638549	0,706552891	0,975504741
1997	7,667124526	18,50799875	25,76039017	21,45695711	17,96834117	14,97071574	6,937876579	6,497964614	7,268517453	9,470322254	18,41831849	26,35120093
1998	27,76936633	28,35762444	25,27558907	27,43370323	18,30164961	5,961143474	4,963659203	3,895846473	3,631814925	2,13281365	3,409043912	0,605638549
1999	5,925296916	26,59336567	26,64812763	21,72700473	23,61544535	28,07782549	22,86250763	28,18259179	24,29765491	17,95950165	3,409043912	4,658181102

Tabla VIII

“Tabla de Caudales Turbinables”

En el diseño del proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo” utilizaremos dos turbinas de 6 m3/seg cada una de tipo Francis, la cual pueden operar hasta con un 40% de su eficiencia la cual es 2,4 m3/seg.

Con los datos propios del diseño y con una simple función lógica que determina los valores turbinables en un rango no mayor al caudal de diseño 12 m3/seg y no menor a 2,4 m3/seg, en el tabla X se mostrara los caudales propiamente seleccionados con las especificaciones antes mencionadas, adicionalmente a esto con un análisis similar podemos ver la operación mas optima de las dos turbinas con el fin de aprovechar de una mejor manera el recurso hídrico.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,57	5,46	4,37	3,89	4,67	4,09
1966	12,00	12,00	12,00	12,00	9,83	6,63	4,81	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1967	10,56	12,00	12,00	10,82	8,36	6,09	4,20	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00
1968	5,38	11,55	12,00	12,00	6,25	4,29	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1969	5,31	7,77	12,00	12,00	12,00	0,00	5,87	4,66	3,73	0,00	0,00	2,91
1970	11,12	12,00	12,00	12,00	12,00	8,76	5,27	4,50	3,93	2,74	0,00	3,16
1971	8,18	12,00	12,00	12,00	8,71	5,45	3,71	2,42	0,00	0,00	0,00	2,54
1972	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	8,86	7,44	6,81	6,36	11,61
1973	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,30	6,00	4,36	3,94	3,57	3,03	3,33
1974	6,39	12,00	12,00	10,88	11,56	6,50	4,61	3,46	2,98	3,07	2,90	6,34
1975	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,14	6,02	4,44	3,62	3,39	2,85	2,91
1976	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,52	6,12	4,29	3,37	2,67	2,61	4,12
1977	9,87	12,00	12,00	12,00	10,14	6,06	4,26	3,33	2,81	2,41	0,00	2,41
1978	9,37	12,00	12,00	12,00	12,00	7,11	4,57	0,00	0,00	2,53	0,00	3,14
1979	8,38	12,00	12,00	9,11	9,04	8,10	4,52	3,30	2,77	2,41	0,00	3,91
1980	3,93	12,00	12,00	12,00	12,00	9,87	5,39	3,70	2,63	0,00	0,00	5,79
1981	7,85	12,00	12,00	12,00	12,00	5,87	4,75	4,16	3,83	3,86	3,90	4,17
1982	12,00	12,00	12,00	12,00	9,96	6,13	4,93	3,30	2,81	4,49	12,00	12,00
1983	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	10,40	7,56	7,11	6,22	0,00
1984	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	7,44	5,36	3,71	5,38	2,61	0,00	4,94
1985	12,00	12,00	12,00	12,00	11,33	5,98	4,38	3,67	3,34	4,79	4,59	3,22
1986	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	6,10	4,16	3,25	3,42	3,36	3,23	3,15
1987	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	10,16	4,42	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	6,80	3,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1989	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	8,27	5,13	3,28	2,42	2,54	3,40	3,34
1990	4,84	12,00	12,00	12,00	12,00	6,57	4,01	2,69	0,00	0,00	0,00	2,67
1991	7,39	12,00	12,00	12,00	12,00	7,06	4,24	2,70	0,00	0,00	0,00	2,81
1992	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	6,17	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	5,71	12,00	12,00	12,00	12,00	8,00	3,75	0,00	0,00	0,00	3,49	0,00
1994	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91
1995	12,00	12,00	12,00	12,00	7,65	4,73	3,23	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	6,34	12,00	12,00	12,00	9,96	4,54	3,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	7,67	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	6,94	6,50	7,27	9,47	12,00	12,00
1998	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	5,96	4,96	3,90	3,63	0,00	3,41	0,00
1999	5,93	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	3,41	4,66

Tabla IX

“Caudales Turbinables en las Turbinas tipo Francis”

En el siguiente cuadro de caudales turbinables podemos analizar que en varios meses de verano, tenemos valore de caudales de cero, lo que indica que están por debajo del valor de 2,4 m3/seg que representa al 40 % de la eficiencia del valor de diseño de la turbina.

5.3 Descripción de parámetros para el Cálculo de Potencia

Para el estudio de potencia y energía es necesario tener en cuenta una serie de parámetros, los cuales se enuncia en el tabla XI que a continuación se muestra:

Parametros	Caluma bajo
Eficiencia	0,9016
Gravedad m/seg2	9,81
Altura neta Hn (m)	237,15
Altura bruta Hb (m)	255
Caudal de diseño (m3/seg)	12

Tabla X

Parámetros para el calculo de Potencia

Con los valores del tabla XI de caudales Turbinables y con los parámetros mencionados en el cuadro XII procedemos a calcular la potencia en MW mediante la siguiente fórmula:

$$P = Eficiencia \times gravedad \times Hn \times Qdis$$

A continuación se muestra el tabla XII con los valores de potencia.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	20,06834495	11,44438691	9,164969258	8,151644431	9,787397786	8,579267812
1966	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	20,62322903	13,90981085	10,098812	8,516328111	0	0	0	0
1967	22,15934215	25,17023588	25,17023588	22,70227527	17,5335767	12,77906684	8,801122212	5,10693623	0	0	0	0
1968	11,28590371	24,23669863	25,17023588	25,17023588	13,10008251	8,993017166	5,248179975	0	0	0	0	0
1969	11,14630844	16,30591882	25,17023588	25,17023588	25,17023588	0	12,30908729	9,779617809	7,819495716	0	0	6,097527994
1970	23,31928134	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	18,36994794	11,048522	9,447402398	8,240964911	5,755267101	0	6,620133461
1971	17,15363943	25,17023588	25,17023588	25,17023588	18,26967074	11,43130203	7,791890346	5,073924755	0	0	0	5,325176362
1972	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	18,58033354	15,61569104	14,27580425	13,33340793	24,34981321
1973	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	19,49678644	12,57961562	9,151867454	8,25956669	7,491000586	6,358612336	6,987134758
1974	13,41362607	25,17023588	25,17023588	22,82802784	24,23708315	13,63178318	9,678989333	7,262154026	6,245485647	6,449490869	6,080290231	13,30787304
1975	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	19,16277409	12,61781724	9,322762037	7,601524491	7,101191375	5,981377835	6,103366095
1976	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	19,97287393	12,82726838	8,99011602	7,064057311	5,60898442	5,480427326	8,646971447
1977	20,70209885	25,17023588	25,17023588	25,17023588	21,26039576	12,71482139	8,945119155	6,989573468	5,891934338	5,050963583	0	5,055777798
1978	19,65848515	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	14,91816099	9,586982717	0	0	5,298709273	0	6,59109179
1979	17,56902166	25,17023588	25,17023588	19,10941818	18,95839971	16,98299256	9,485452917	6,92786335	5,807897288	5,046857649	0	8,209641025
1980	8,251082232	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	20,69695839	11,30365769	7,761051708	5,506012162	0	0	12,15403293
1981	16,46252254	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	12,30574031	9,969446643	8,72544612	8,027592168	8,08827512	8,179299549	8,755787596
1982	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	20,88081384	12,85381315	10,34513102	6,911950195	5,892707686	9,415916256	25,17023588	25,17023588
1983	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	21,81544182	15,85847942	14,90349385	13,05674864	0
1984	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	15,60441433	11,2420667	7,781552068	11,28619043	5,477869125	0	10,36985733
1985	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	23,76454946	12,53523927	9,180568262	7,69383593	6,995981978	10,04727962	9,632984187	6,753250168
1986	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	12,79120393	8,72544612	6,813933121	7,178030835	7,05666493	6,783591645	6,601542788
1987	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	21,31997301	9,27137973	5,814236866	0	0	0	0
1988	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	14,26863308	7,463616668	0	0	0	0	0
1989	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	17,34318084	10,75792367	6,886653027	5,08377246	5,32295758	7,137594817	7,007398086
1990	10,15596978	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	13,77187895	8,416528766	5,63621602	0	0	0	5,590089124
1991	15,49959324	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	14,80690025	8,887481423	5,661813632	0	0	0	5,890995101
1992	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	12,9314312	6,545596183	0	0	0	0
1993	11,98063037	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	16,78653408	7,863227956	0	0	0	7,313405301	0
1994	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	11,17400041	0	0	0	0	0	6,108075352
1995	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	16,05434392	9,916941501	6,769125853	5,908584527	0	0	0	0
1996	13,30773682	25,17023588	25,17023588	25,17023588	20,88141271	9,522961862	6,486983981	0	0	0	0	0
1997	16,0819444	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	14,5523325	13,6296085	15,24585823	19,86418708	25,17023588	25,17023588
1998	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	12,50361561	10,41137275	8,171614555	7,617803194	0	7,150536616	0
1999	12,42842675	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	25,17023588	7,150536616	9,770626424

Tabla XI

“Valores de Potencia”

5.3.1 Análisis del Cuadro de Potencia

Del siguiente cuadro podemos hacer un estudio minucioso con el fin de determinar la potencia instalada del proyecto.

Procedemos a tomar el número de frecuencias y a contarlos, determinamos con que probabilidad ocurren estos eventos.

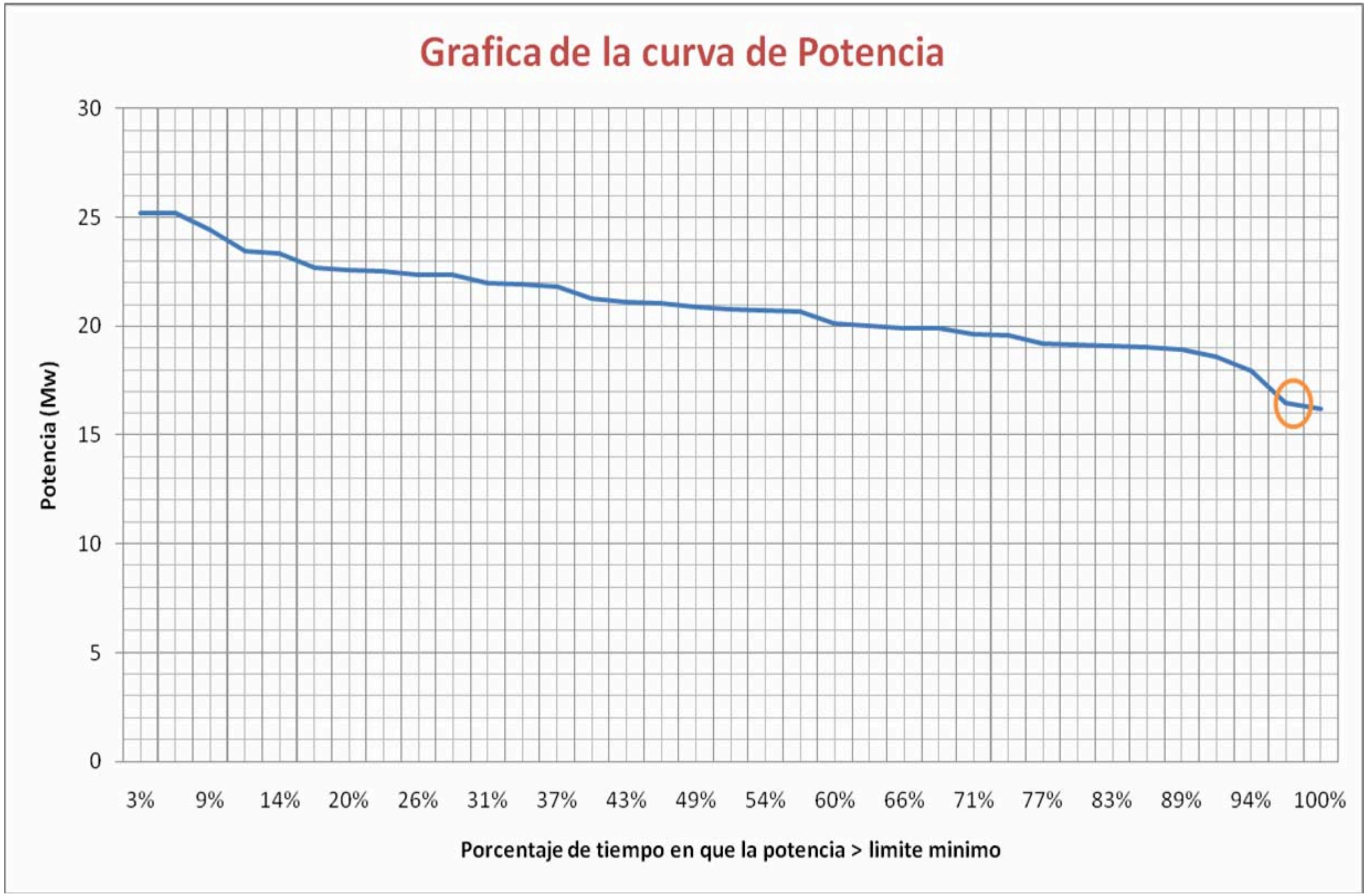
La potencia instalada se refiere a la potencia máxima que puede entregar la central, por tal motivo lo optimó seria tratar de aprovechar el recurso en cuanto sea posible.

A continuación en la tabla XIII se muestra el número de frecuencia con la probabilidad de que ocurran estos eventos.

Minimos	Frecuencia (%)	Potencia (Mw)
1	0,028571429	25,17023588
2	0,057142857	25,17023588
3	0,085714286	24,44139432
4	0,114285714	23,42183521
5	0,142857143	23,34997743
6	0,171428571	22,66447453
7	0,2	22,56108306
8	0,228571429	22,51882439
9	0,257142857	22,35506518
10	0,285714286	22,34893316
11	0,314285714	21,99318341
12	0,342857143	21,9169564
13	0,371428571	21,81395149
14	0,4	21,25230968
15	0,428571429	21,08334702
16	0,457142857	21,05254706
17	0,485714286	20,88018579
18	0,514285714	20,75897077
19	0,542857143	20,69208177
20	0,571428571	20,68010022
21	0,6	20,13323455
22	0,628571429	19,9821312
23	0,657142857	19,91695043
24	0,685714286	19,87616325
25	0,714285714	19,61590513
26	0,742857143	19,57502569
27	0,771428571	19,18797928
28	0,8	19,1614259
29	0,828571429	19,06019354
30	0,857142857	19,00361729
31	0,885714286	18,9208224
32	0,914285714	18,59388717
33	0,942857143	17,95854329
34	0,971428571	16,46743174
35	1	16,17205053

Tabla XII

“Probabilidad de Ocurrencia de la Potencia Instalada”


Grafica de la curva de Potencia
Potencia (Mw)
30
25
20
15
10
5
0
3% 9% 14% 20% 26% 31% 37% 43% 49% 54% 60% 66% 71% 77% 83% 89% 94% 100%
Porcentaje de tiempo en que la potencia > limite minimo

Grafica 7

5.3.2 Análisis de la Curva de Potencia

La grafica 7 representa la curva de potencia, la misma que ayudara a conocer cuanta energía se puede generar aprovechando el recurso hídrico, el cual se describe de la siguiente manera:

- La potencia que tiene la probabilidad del 50 % de ocurrencia es a igual a 20,78 Mw.
- La potencia que tiene la probabilidad del 97 % de ocurrencia o la potencia garantizada es igual a 16,46 Mw.

Con estos parámetros y tomando en cuenta nuestro criterio para diseñar el aprovechamiento optimo del recurso para producción de energía eléctrica, los valores mencionados anteriormente serán los que se procederá a usar.

En la tabla XIV se mostrara los valores de potencia garantizables.

Una vez determinada la potencia instalada del proyecto procedemos a reajustar el cuadro de potencia por medio de funciones lógicas aplicadas en Excel, esto nos da como resultado un excedente de agua en los vertederos de la boca toma, el cual por medio de cálculos se ha estimado un porcentaje aproximado del 20% del caudal de diseño es decir que los centros poblados afectados ambientalmente ya sea directa o indirectamente recibirán un caudal ecológico total de 30%.

Este valor fue estimado relacionándolo con el porcentaje del caudal ecológico por medio de un promedio tomado de la tabla XV que representa a los caudales no utilizados entregados a los centros poblados.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	16	16	16	16	16	16	16	11,44438691	9,164969258	8,151644431	9,787397786	8,579267812
1966	16	16	16	16	16	13,90981085	10,098812	8,516328111	0	0	0	0
1967	16	16	16	16	16	12,77906684	8,801122212	5,10693623	0	0	0	0
1968	11,28590371	16	16	16	13,10008251	8,993017166	5,248179975	0	0	0	0	0
1969	11,14630844	16	16	16	16	0	12,30908729	9,779617809	7,819495716	0	0	6,097527994
1970	16	16	16	16	16	16	11,048522	9,447402398	8,240964911	5,755267101	0	6,620133461
1971	16	16	16	16	16	11,43130203	7,791890346	5,073924755	0	0	0	5,325176362
1972	16	16	16	16	16	16	16	16	15,61569104	14,27580425	13,33340793	16
1973	16	16	16	16	16	16	12,57961562	9,151867454	8,25956669	7,491000586	6,358612336	6,987134758
1974	13,41362607	16	16	16	16	13,63178318	9,678989333	7,262154026	6,245485647	6,449490869	6,080290231	13,30787304
1975	16	16	16	16	16	16	12,61781724	9,322762037	7,601524491	7,101191375	5,981377835	6,103366095
1976	16	16	16	16	16	16	12,82726838	8,99011602	7,064057311	5,60898442	5,480427326	8,646971447
1977	16	16	16	16	16	12,71482139	8,945119155	6,989573468	5,891934338	5,050963583	0	5,055777798
1978	16	16	16	16	16	14,91816099	9,586982717	0	0	5,298709273	0	6,59109179
1979	16	16	16	16	16	16	9,485452917	6,92786335	5,807897288	5,046857649	0	8,209641025
1980	8,251082232	16	16	16	16	16	11,30365769	7,761051708	5,506012162	0	0	12,15403293
1981	16	16	16	16	16	12,30574031	9,969446643	8,72544612	8,027592168	8,08827512	8,179299549	8,755787596
1982	16	16	16	16	16	12,85381315	10,34513102	6,911950195	5,892707686	9,415916256	16	16
1983	16	16	16	16	16	16	16	16	15,85847942	14,90349385	13,05674864	0
1984	16	16	16	16	16	15,60441433	11,2420667	7,781552068	11,28619043	5,477869125	0	10,36985733
1985	16	16	16	16	16	12,53523927	9,180568262	7,69383593	6,995981978	10,04727962	9,632984187	6,753250168
1986	16	16	16	16	16	12,79120393	8,72544612	6,813933121	7,178030835	7,05666493	6,783591645	6,601542788
1987	16	16	16	16	16	16	9,27137973	5,814236866	0	0	0	0
1988	16	16	16	16	16	14,26863308	7,463616668	0	0	0	0	0
1989	16	16	16	16	16	16	10,75792367	6,886653027	5,08377246	5,32295758	7,137594817	7,007398086
1990	10,15596978	16	16	16	16	13,77187895	8,416528766	5,63621602	0	0	0	5,590089124
1991	15,49959324	16	16	16	16	14,80690025	8,887481423	5,661813632	0	0	0	5,890995101
1992	16	16	16	16	16	16	12,9314312	6,545596183	0	0	0	0
1993	11,98063037	16	16	16	16	16	7,863227956	0	0	0	7,313405301	0
1994	16	16	16	16	16	11,17400041	0	0	0	0	0	6,108075352
1995	16	16	16	16	16	9,916941501	6,769125853	5,908584527	0	0	0	0
1996	13,30773682	16	16	16	16	9,522961862	6,486983981	0	0	0	0	0
1997	16	16	16	16	16	16	14,5523325	13,6296085	15,24585823	16	16	16
1998	16	16	16	16	16	12,50361561	10,41137275	8,171614555	7,617803194	0	7,150536616	0
1999	12,42842675	16	16	16	16	16	16	16	16	16	7,150536616	9,770626424

Tabla XIII

“Potencia Garantizable”

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Promedio
1965	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,939598009	0	0	0	0	0	4,37194276
1966	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,204140977	0	0	0	0	0	0	0	3,938382404
1967	2,936488406	4,37194276	4,37194276	3,195333712	0,73113818	0	0	0	0	0	0	0	3,121369164
1968	0	3,926875538	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	0	2,534152212
1969	0	0,145847892	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	2,652335235
1970	3,489493564	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,129881159	0	0	0	0	0	0	4,195452921
1971	0,550001724	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,082073645	0	0	0	0	0	0	0	2,94958073
1972	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,230183247	0	0	0	3,98080332	4,37194276
1973	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,667105446	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1974	0	4,37194276	4,37194276	3,255286701	3,92705886	0	0	0	0	0	0	0	3,185246216
1975	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,507863862	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1976	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	1,89408186	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1977	2,241742447	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,507912497	0	0	0	0	0	0	0	3,573096645
1978	1,744195883	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	3,846393385
1979	0,748036689	4,37194276	4,37194276	1,482426241	1,410427645	0,46864522	0	0	0	0	0	0	2,476955219
1980	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,239291715	0	0	0	0	0	0	3,497554208
1981	0,220509277	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	3,541656064
1982	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,326945459	0	0	0	0	0	4,37194276	4,37194276	3,9629433
1983	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,772532692	0	0	0	0	4,37194276
1984	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1985	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	3,701776735	0	0	0	0	0	0	0	4,237909555
1986	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1987	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,536316162	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1988	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1989	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0,640366272	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1990	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	3,497554208
1991	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	3,497554208
1992	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1993	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0,374982936	0	0	0	0	0	0	3,497554208
1994	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1995	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0,025908658	0	0	0	0	0	0	0	3,50273594
1996	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	2,327230971	0	0	0	0	0	0	0	3,08861185
1997	0,039067286	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	1,842265014	4,37194276	4,37194276	3,505367666
1998	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	0	0	0	0	0	4,37194276
1999	0	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	4,37194276	0	0	3,497554208
													3,80020452

Tabla XIV

"Caudales no Utilizables"

5.4 Energía

El análisis antes realizado se basa fundamentalmente en obtener la energía, dentro de este estudio podemos asegurar una producción anual de energía en base a los resultados que se mostraran más adelante en este mismo capítulo.

La energía es el producto de la potencia eléctrica generada en un periodo de tiempo. Como efecto de estándares utilizados en el entendimiento de energía las unidades serán GWh y el tiempo razonable para considerar la producción como positiva o negativa es de 720 horas.

Como resultado de un laborioso estudio, la energía promedio anual producida por este proyecto es de 93,67 GWh.

En la tabla XVI se muestra los valores de energía.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Totales
1965	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	8,239958573	6,598777866	5,869183991	7,046926406	6,177072824	114,5719197
1966	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	10,01506381	7,271144643	6,13175624	0	0	0	0	81,0179647
1967	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,200928127	6,336807992	3,676994086	0	0	0	0	76,8147302
1968	8,12585067	11,52	11,52	11,52	9,432059406	6,47497236	3,778689582	0	0	0	0	0	62,37157202
1969	8,02534208	11,52	11,52	11,52	11,52	0	8,862542851	7,041324823	5,630036915	0	0	4,390220156	80,02946682
1970	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	7,954935837	6,802129726	5,933494736	4,143792313	0	4,766496092	98,7208487
1971	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	8,230537461	5,610161049	3,653225823	0	0	0	3,83412698	78,92805131
1972	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,24329755	10,27857906	9,600053712	11,52	134,8019303
1973	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,057323246	6,589344567	5,946888016	5,393520422	4,578200882	5,030737026	105,7160142
1974	9,65781077	11,52	11,52	11,52	11,52	9,814883889	6,968872319	5,228750899	4,496749666	4,643633425	4,377808967	9,581668587	100,8501785
1975	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,08482841	6,712388666	5,473097633	5,11285779	4,306592041	4,394423588	104,2041881
1976	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,235633233	6,472883535	5,086121264	4,038468782	3,945907674	6,225819442	104,1248339
1977	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,154671399	6,440485792	5,032492897	4,242192724	3,63669378	0	3,640160014	89,74669661
1978	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	10,74107591	6,902627556	0	0	3,815070677	0	4,745586089	83,80436024
1979	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	6,8295261	4,988061612	4,181686047	3,633737508	0	5,910941538	94,6639528
1980	5,94077921	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	8,13863354	5,58795723	3,964328757	0	0	8,750903708	89,98260244
1981	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	8,860133022	7,178001583	6,282321206	5,779866361	5,823558086	5,889095675	6,304167069	103,717143
1982	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,254745466	7,448494332	4,97660414	4,242749534	6,779459704	11,52	11,52	113,3420532
1983	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,41810518	10,73051557	9,400859017	0	123,7094798
1984	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,23517832	8,094288025	5,602717489	8,126057109	3,94406577	0	7,466297275	102,068604
1985	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,025372275	6,610009149	5,539561869	5,037107024	7,234041324	6,935748614	4,862340121	102,8441804
1986	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,209666827	6,282321206	4,906031847	5,168182201	5,08079875	4,884185984	4,753110807	97,88429762
1987	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	6,675393405	4,186250543	0	0	0	0	79,98164395
1988	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	10,27341582	5,373804001	0	0	0	0	0	73,24721982
1989	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	7,745705046	4,958390179	3,660316171	3,832529457	5,139068269	5,045326622	99,50133574
1990	7,31229824	11,52	11,52	11,52	11,52	9,915752846	6,059900712	4,058075534	0	0	0	4,024864169	77,4508915
1991	11,1597071	11,52	11,52	11,52	11,52	10,66096818	6,398986625	4,076505815	0	0	0	4,241516472	82,61768423
1992	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,310630461	4,712829251	0	0	0	0	83,14345971
1993	8,62605386	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	5,661524128	0	0	0	5,265651816	0	77,15322981
1994	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	8,045280297	0	0	0	0	0	4,397814253	70,04309455
1995	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	7,140197881	4,873770614	4,25418086	0	0	0	0	73,86814935
1996	9,58157051	11,52	11,52	11,52	11,52	6,856532541	4,670628466	0	0	0	0	0	67,18873152
1997	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	10,4776794	9,813318123	10,97701793	11,52	11,52	11,52	134,9480154
1998	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	9,00260324	7,496188377	5,88356248	5,4848183	0	5,148386363	0	90,61555876
1999	8,94846726	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	5,148386363	7,034851025	124,8117046
													93,6710225

Tabla XV

“Valores de Energía”

5.4.1 Análisis del Cuadro de Energía

De la tabla de energía podemos hacer un estudio minucioso con el fin de determinar la energía garantizada o firme del proyecto

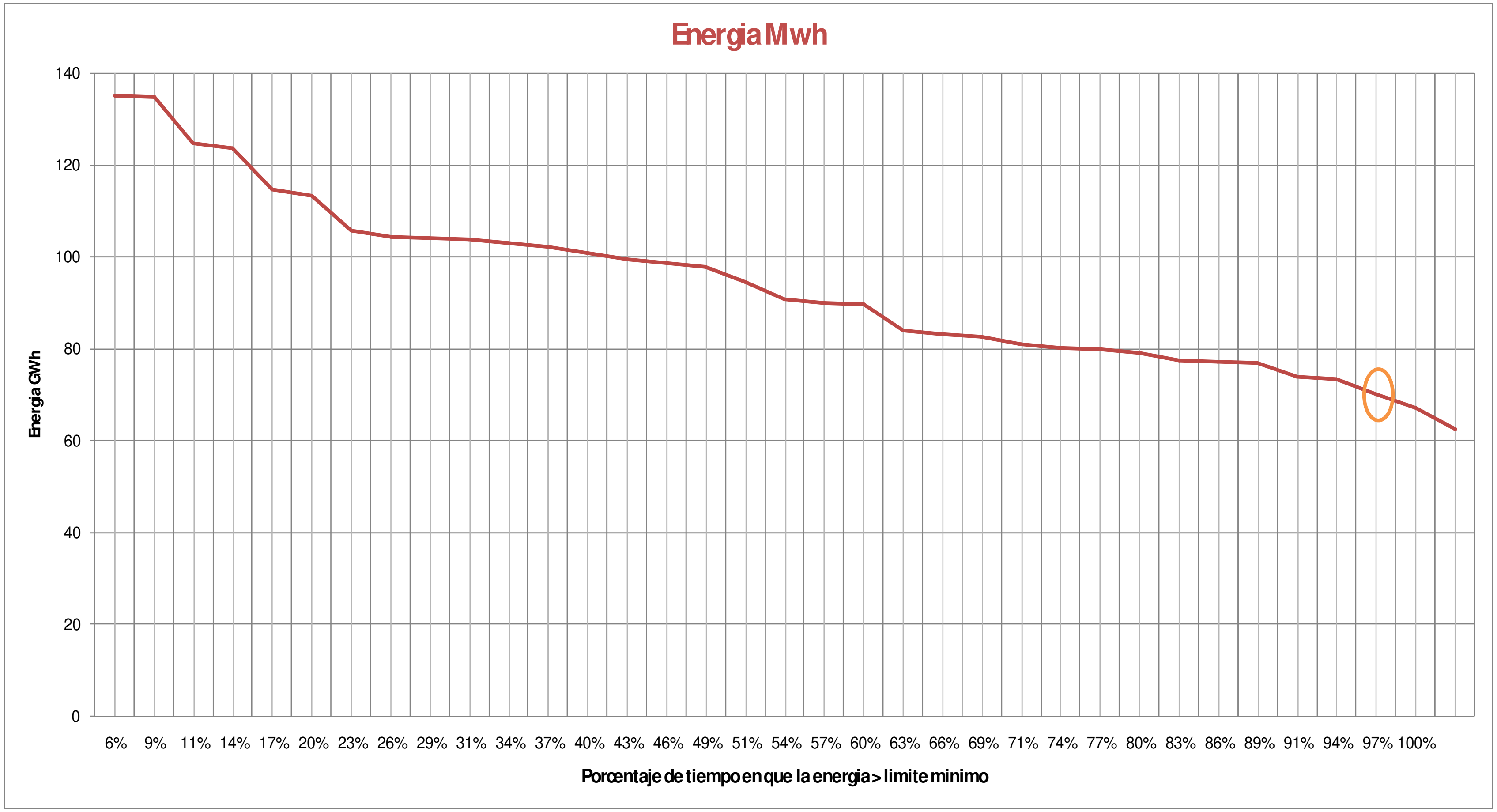
Se procede a tomar la frecuencia o eventos y a contar con que probabilidad ocurren.

A continuación en la tabla XVII se muestra la frecuencia con la probabilidad de ocurrencia de los eventos.

Minimos	Frecuencia (%)	Energia Mwh
1	2,857142857	134,9480154
2	5,714285714	134,8019303
3	8,571428571	124,8117046
4	11,42857143	123,7094798
5	14,28571429	114,5719197
6	17,14285714	113,3420532
7	20	105,7160142
8	22,85714286	104,2041881
9	25,71428571	104,1248339
10	28,57142857	103,717143
11	31,42857143	102,8441804
12	34,28571429	102,068604
13	37,14285714	100,8501785
14	40	99,50133574
15	42,85714286	98,7208487
16	45,71428571	97,88429762
17	48,57142857	94,6639528
18	51,42857143	90,61555876
19	54,28571429	89,98260244
20	57,14285714	89,74669661
21	60	83,80436024
22	62,85714286	83,14345971
23	65,71428571	82,61768423
24	68,57142857	81,0179647
25	71,42857143	80,02946682
26	74,28571429	79,98164395
27	77,14285714	78,92805131
28	80	77,4508915
29	82,85714286	77,15322981
30	85,71428571	76,8147302
31	88,57142857	73,86814935
32	91,42857143	73,24721982
33	94,28571429	70,04309455
34	97,14285714	67,18873152
35	100	62,37157202

Tabla XVI

“Probabilidad de Ocurrencia de la Energía”



Grafica 8

“Curva de Energía”

5.4.2 Análisis de la Curva de Energía

La grafica 8 representa la curva de energía, en esta se pueden observar las probabilidades de energía correspondientes a cada porcentaje de tiempo, el cual se describe de la siguiente manera:

- La energía con una probabilidad del 50 % de ocurrencia es a igual a 90,5 MWh.
- La energía con una probabilidad del 97 % de ocurrencia o la energía firme garantizada es igual a 67,18 MWh.

CAPITULO 6

DISEÑO DE OBRAS

6.1 Introducción

El diseño del proyecto hidroeléctrica “Caluma Bajo” se ha realizado tomando como base informes de prefactibilidad y factibilidad de centrales hidroeléctricas de medianas capacidad, tales como: “Echeandía” y “Caluma”, realizados por el INECEL, debido a que por ser proyectos de capacidades similares, su diseño estructural y de operación no varían significativamente en sus principales características constructivas, como son: Obras Civiles e Hidráulicas, Equipo Mecánico y Equipo Eléctrico.

Este proyecto está diseñado de tal forma que se aprovecha la unión de los ríos “Escaleras” y “Tablas” que son los mayores afluentes del rio “Pita”, de esta manera se aprovecha el nivel de la toma de tal forma que se pueda mantener el mismo nivel en el lugar la de restitución del agua.

6.2 Obras Civiles e Hidráulicas

EL sistema hidráulico está formado por una conducción que se realiza desde la toma en el rio “Pita” que tiene como sus mayores afluentes a los ríos “Tablas” y “Escaleras”, llevando el caudal la mayor parte del recorrido por canal y a presión en el momento de la caída forzada procurando mantener la misma cota.

Los principales componentes Hidráulicos son:

- Toma
- Desarenador
- Obras de Conducción
- Reservorio
- Tanque de Carga
- Tubería de Presión
- Canales
- Casa de Maquinas y patio de Maniobras
- Canal de Restitución

6.2.1 Obras de Toma

El tipo de obra de toma ha sido seleccionado en base a consideraciones de operación de la central. Para el dimensionamiento de estas obras se han considerado datos de orden hidrológico, hidroenergético, morfológico y geológico.

6.2.2 Desarenador

Tiene como función el de remover las partículas que se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua.

Este ha sido seleccionado en base a las características de operación de la central. El desarenador a utilizarse consta de dos cámaras de sedimentación, y al final de estas se han previstos ductos de limpieza alineados con el eje de cada cámara. Para el dimensionamiento del desarenador se consideran aspectos de tipo hidráulicos como son el caudal de diseño en la conducción, la velocidad del agua que pasa por el mismo y el diámetro mínimo de las partículas a sedimentarse. A continuación en la tabla XVIII se mostrara los parámetros más importantes.

PARAMETROS	DIMENSIONES
Elevación superior de las paredes	498.60
Elevación del fondo de la estructura de entrada	490
Elevación del fondo de las cámaras de Sedimentación	487.20
Elevación del vertedero de excesos	495
Elevación del umbral de salida	492.5
Longitud total del Desarenador (m)	80.5
Ancho útil de cada cámara (m)	9
Longitud útil de las cámaras (m)	40
Profundidad útil de cada cámara (m)	5
Longitud del Vertedero (m)	15
Volumen total de excavación (m3)	8700
Volumen total de hormigón (m3)	6800
N decompuertas deslizantes de 4.2x4.9 (m)	2
N de compuertas de mantenimiento 4.2x4.9 (m)	2
N de compuertas deslizantes de 1.5x1.5(m)	2
N de compuertas de mantenimiento de 1.5x1.5	2

Tabla XVII

"Parámetros del Desarenador"

6.2.3 Tanque de Carga

El tanque de carga se encuentra ubicado aguas abajo del Desarenador y cuyo acceso se lo hará desde la carretera principal.

Los elementos que constituyen esta obra y que se describen en el sentido del flujo son: estructura de control provisto de rejilla fina, dos compuertas de seguridad y tanque de carga. Las dimensiones principales de la obra se muestran en la tabla XIX.

PARAMETROS	DIMENSIONES
Elevación del nivel normal de agua	494.98
Elevación mínima del agua	492.98
Elevación del umbral de la estructura de control	490.20
Elevación en el fondo de la cámara de carga	482.75
Volumen de Hormigón (m3)	1100
N de compuertas de 4x3.5 m	2 (deslizantes)
N de compuertas de mantenimiento	4

Tabla XVIII

"Parámetros del Tanque de Carga"

6.2.4 Obras de Conducción

Las obras de conducción para los diferentes aprovechamientos, prevén un flujo de gravedad desde el inicio de la boca toma por medio de canal y en el momento de la caída forzada se utilizará tubería a presión.

Debido al desnivel del terreno se colocaran dos puentes o bases para seguir manteniendo el nivel de la conducción.

A continuación en la tabla XX se mostrará los parámetros más importantes de la conducción.

PARAMETRO	CALUMA BAJO
Longitud Total (km)	19,177
Longitud Canales (km)	17,19
Longitud Tubería (km)	1,987
Caudal de Diseño (m^3/seg)	12

Tabla XIX

"Parámetros de Conducción"

6.2.5 Casa de

El dimensionamiento de la casa de maquinas se ha realizado considerando turbinas Francis para la central, acopladas a generadores individuales cada una de ellas. Cabe recalcar que tanto las turbinas como los generadores utilizados por cada una de las centrales, constan de sus respectivos dispositivos de protección e interrupción. Se mostrará a continuación los parámetros.

- Válvula mariposa
- Turbinas Francis de eje horizontal con dispositivos de protección.
- Generadores con equipo de interrupción y dispositivos de protección.
- Canal de descarga que desemboca en el canal de restitución en la elevación 352.10m.
- Tableros de cierre.

6.2.6 Canal de Restitución

El canal de Restitución recolecta el agua turbinada y las entrega nuevamente al rio sin que se produzca una erosión excesiva en el cauce. A continuación se mostrara los parámetros más importantes.

El canal de restitución de sección trapezoidal tiene las siguientes características geométricas:

PARAMETROS	CALUMA BAJO
Ancho del fondo (m)	1.6
Talud de las paredes H:V	0,042361111
Calado con 4 unidades en operacon (m)	2.7
Pendiente del Fondo	0.02%
Longitud del Canal (m)	440

Tabla XX

"Parámetros del Canal de Restitución"

6.2.7 Equipo Mecánico y Eléctrico

En lo que respecta al equipo mecánico y eléctrico se ha realizado el mismo procedimiento que se siguió para la parte de diseño del proyecto, es decir se realizó un resumen de los estudios hechos por INECEL.

6.2.8 Equipo Mecánico

Con respecto al equipo mecánico se ha tomado en consideración los elementos más importantes.

El principal equipo mecánico tomado en consideración se presenta a continuación:

6.2.8.1 Turbinas

Las turbinas serán de tipo Francis de eje horizontal y de rodete simple, que operen a una velocidad de 900 rpm, con una potencia nominal de 3140 Kw cada una.

6.2.8.2 Válvulas de Entrada (de guardia).

Una válvula de entrada de tipo mariposa, será provista para cada turbina entre la tubería de presión y el caracol de la turbina, para permitir el desagüe de la misma y así poder realizar la inspección y mantenimiento necesario y también para el cierre de emergencia del flujo de agua en el caso de falla de los álabes móviles.

Las válvulas de entrada serán operadas hidráulicamente solamente en la apertura, siendo la operación de cierre mediante contrapeso. El diámetro de la válvula es de aproximadamente 750 mm.

6.2.8.3 Reguladores

Cada turbina estará provista de un regulador PID para mantener una velocidad de la turbina constante mediante la regulación automática de la apertura de los álabes móviles como respuesta a los cambios de carga. Los reguladores serán del tipo electro-hidráulico.

6.2.8.4 Compuertas

Más adelante se presentaran todas las compuertas que serán empleadas en el proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo”, tanto en la presa como en la casa de máquinas, anotándose sus características principales. A las compuertas se les ha clasificado en cinco tipos: radiales, de clapeta, planas deslizantes, planas con rueda y vigas de cierre.

6.2.8.4.1 Compuertas de Tipo Radial

Trabajarán totalmente sumergidas, empleándose en los desagües de fondo (dos) y para la limpieza del fondo del reservorio frente a la toma (una), para evacuar los materiales pesados como piedras y arena, que se depositarán en este sitio, dada la configuración de la bocatoma.

6.2.8.4.2 Compuertas de Tipo Deslizantes

Serán empleadas en la zona de la bocatoma para permitir o no el paso de agua, para evacuación en labores de limpieza del canal del desarenador, y como compuertas de mantenimiento de las compuertas tipo radial y de las turbinas.

6.2.8.4.3 Compuertas Planas con Ruedas

6.2.8.4.4

Similares a las deslizantes, pero a ser empleadas en condiciones no equilibradas de presión de agua en las dos caras.

CAPITULO 7

PRESUPUESTO DE OBRA

7.1 Introducción

Para el desarrollo del presupuesto de la Central se conto con la información de costos de materiales, equipos electromecánicos y equipos hidromecánicos dados en parte por el Ingeniero y cotizados por nosotros.

7.2 Presupuesto de Obras Civiles

A continuación en la tabla XXII se presenta el presupuesto de la central hidroeléctrica “Caluma Bajo”.

PROYECTO	CENTRAL HIDROELELCTRICA DE MEDIANA CAPACIDAD
	GRUPO
	OPTIMIZACION DEL PROYECTO CALUMA BAJO

Código	RESUMEN GENERAL :		SUBTOTAL USD/Americanos	%
1	**OBRA CIVIL**		**16.039.232,56**	**63,65%**
1.1	Bocatoma		2.150.259,08	8,53%
1.2	Obra de Trasvase		978.836,98	3,9%
1.3	Conducción		9.241.608,99	36,7%
1.5	Conducción a baja presión y Chimenea		373.267,54	1,5%
1.6	Tubería de Presión		1.303.654,89	5,2%
1.7	Casa de Máquinas		802.558,74	3,2%
1.8	Terrenos		148.569,12	0,6%
1.9	K. ACCESOS		540.477,22	2,1%
1.10	N. MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL		500.000,00	2,0%
2	**EQUIPOS**		**9.158.376,45**	**36,3%**
2.1	Equipos Electromecánicos		6.986.639,04	27,7%
2.2	Equipos Hidromecánicos		2.171.737,40	8,6%
	COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION =		25.197.609,01	**100,00%**
	Ingeniería y Administración =	**7%**	1.763.832,63	
	Imprevistos =	**5%**	1.348.072,08	
	COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION =		28.309.513,72	
	Impuesto al Valor Agregado - IVA =	12%	3.397.141,65	
	INVERSION TOTAL DEL PROYECTO =		**31.706.655,37**	

Tabla XXI

“Presupuesto del Proyecto Caluma Bajo”

La inversión total del proyecto “Caluma Bajo” es de $ 31.706.655.37 millones, y para esta central de 16 MW se ha calculado que su costo por Kilovatio instalado es de $ 1.981.67 dólares.

2	EQUIPOS					
2.1	Equipos Electromecánicos					
XEM-01	Turbinas	glb	1	1474631.317	1474631.317	
XEM-02	Generadores	glb	1	1622091.484	1622091.484	
XEM-03	Transformadores	glb	1	200,000.00	200,000.00	
XEM-04	Tableros de control	glb	1	1120722.467	1120722.467	
XEM-05	Equipos auxiliares, incluido generador de emergencia y tableros de comunicación	glb	1	331789.0821	331789.0821	
XEM-06	Subestación - (Obra civil y Equipos)	glb	1	505586.1895	505586.1895	
XEM-07	Otros Equipos	glb	1	774184.4034	774184.4034	
XEM-08	Línea de transmisión - (Obra civil y Equipos)	glb	1	957634.0992	957634.0992	6986639.042
2.2	Equipos Hidromecánicos					
Tu-01	Tubería de Presión	Km	1.5	3865.598709	5798.398064	
XME-01	Compuertas radiales	tn	48	6396.904704	307051.4258	
XME-02	Compuertas planas	tn	83.4	4569.217646	381072.7516	
XME-03	Reguladores de velocidad	u	2	125238.547	250477.094	
XME-04	Válvulas esféricas	u	2	438334.9039	876669.8079	
XME-05	Puente grúa	u	1	225429.3804	225429.3804	
XME-06	Sistemas auxiliares	glb	1	125238.547	125238.547	2171737.405

Tabla XXII

"Presupuesto de Equipo Electromecánicos e Hidromecánicos"

En la tabla XXIII se muestra el presupuesto de los equipos electromecánicos e hidromecánicos.

7.3 Resumen y Presupuesto General

La central hidroeléctrica “Caluma Bajo” de 16 MW de potencia instalada tiene un costo total de $ 31.706.655.37, con este valor podemos llegar a la conclusión de que el proyecto si se encuentra entre los rangos admisibles para la construcción de la misma.

CAPITULO 8

ANALISIS FINANCIERO

8.1 Introducción

En este ultimo capitulo realizaremos el análisis financiero del proyecto hidroeléctrico “Caluma Bajo”, para así poder concluir si el proyecto es o no factible económicamente.

También analizamos los parámetros de remuneración por CER, años de vida útil, gastos por concepto de operación y mantenimiento y seguros para cada central, finalmente se determinara el TIR y el VAN.

Previo a la determinación de los ingresos por venta de energía, se determinaron las producciones de energía eléctrica y la potencia eléctrica disponible. Luego se ha considerado los posibles escenarios en los que se puede vender la energía a generar.

8.2 Calculo del CER

El CER “Certificado de Reducción de Emisión de Carbono" fue creado en el tratado de Kyoto para el Financiamiento de Proyectos de Energía Limpia y Renovable. Este mercado de compra-venta de CER está vigente desde el 2005.

Este certificado representa para el proyecto “Caluma Bajo” una considerable cantidad de dinero que ingresará a la central.

Para nuestra central hidroeléctrica se considero lo siguiente:

- 1 CER = 1 TON menos de emisión de CO2
- 1 GWh = 1090 TON de reducción de CO2
- 1 GWh = 1090 CER
- 1 CER = $10

8.3 Resultados del TIR y el VAN

Con los demás valores de remuneración, costos de inversión, seguro, y demás parámetros para la evaluación económica establecidos anteriormente, se realizo la determinación de los índices económicos que ayudaron a interpretar si la central es o no rentable.

A continuación en la tabla XXIV se presentan los resultados obtenidos del TIR y VAN con sus respectivos parámetros

Calculo Costo de Capital (WACC)	
Costo Deuda	12,40
Porcentaje Deuda	0,8
Tasa Impuestos	0,0
Costo Capital Propio	13,9
Porcentaje Capital Propio	0,2
WACC	**12,69%**

TIR Proyecto	15,67%
VAN Proyecto	**$2.344**

Tabla XXIII

"Índices Económicos"

Como podemos observar con los cálculos realizados tenemos un TIR (Tasa Interna de Retorno) de 15.67%, y un VAN (Valor Agregado Neto) de $ 2.344 lo que quiere decir que el proyecto si es rentable.

CONCLUSIONES

1) Hidrológicamente y Morfológicamente el proyecto “Caluma Bajo” no presenta mayores complicaciones técnicas para la construcción de las mismas.

2) Los caudales promedios pronosticados con el uso de la herramienta informática Excel nos aseguran valores dentro del rango de operación de las turbinas utilizadas para este proyecto, que son de tipo Francis, las cuales están diseñadas a operar con el 40% de su capacidad nominal.

3) Luego de los cálculos realizados de presupuesto de obra, producciones energéticas y análisis económicos, se puede concluir que la central hidroeléctrica “Caluma Bajo” es técnicamente factible de construir y además es económicamente rentable.

4) Es importante menciona que la energía limpia ayuda a la reducción de emisión de carbono y contribuye económicamente al proyecto mediante los CER.

La central hidroeléctrica "Caluma Bajo" tiene un costo de inversión de $ 31.706.655.37 con una tasa interna de retorno de 15.67% y un VAN de $ 2.344, con todos estos datos obtenidos en el análisis financiero, la construcción de esta central es económicamente factible.

RECOMENDACIONES

1) Debido a la falta de información actualizada de datos geológicos es recomendable realizar un estudio minucioso en el área de implementación del proyecto “Caluma Bajo”.

2) Para obtener los valores de caudales, se usaron caudales obtenidos mediante el método de transposición desde la estación “Echeandía” en “Echeandía”, por lo que se recomienda la medición de los caudales del río “Pita”, para llevar así un registro real y actual.

3) Se recomienda llegar a un consenso con las comunidades más cercanas al área de implementación del proyecto, con la finalidad de reducir el impacto ambiental que causaría el mismo.

BIBLIOGRAFIA

Las siguientes fuentes han sido consultadas para la realización de este proyecto:

1. Proyecto “Caluma Bajo”

   Estudio a nivel de Prefactibilidad

2. Informe de Prefactibilidad, Centrales Hidroeléctricas de Mediana Capacidad, grupo “Echeandía” y “Caluma”.

   Tomo I: Informe General

   Tomo II: Análisis Financiero

   Tomo III: Obras Civiles

3. “Aprovechamiento del río “Pita” en la Provincia de Bolivar para la construcción de una central hidroeléctrica”

   Escuela Superior Politécnica del Litoral – 2006

   Cartas ArcView del Ecuador (1:250000) y de la cuenca del Guayas (1:50000)

   Instituto Geográfico Militar – 2005

4. Anuarios Meteorológicos e Hidrológicos del INAMHI (1965-1999).

5. Archivos magnéticos sobre datos meteorológicos-hidrométricos de la cuenca del Guayas / INAMHI.

6. http://www.conelec.gov.ec/

   Regulación No. CONELEC – 009/06: “Precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales”.

7. http://www.bce.fin.ec/