

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RIO CHANCHAN PARA LA
PRODUCCIÓN DE ENERGIA ELECTRICA (PROYECTO
HIDROELECTRICO CHANCHAN ALTO Y BAJO)”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION
POTENCIA**

Presentada por:

WILLIAM ALBERTO GALLO ESPINOZA

JORGE ISRAEL JARAMILLO ORTIZ

WILSON XAVIER VELASQUEZ MORAN

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2008

AGRADECIMIENTO

Infinitamente a Dios por la salud y vida que siempre nos regala,

A nuestros padres y familiares

Por su continuo apoyo incondicional día tras día,

Al Ing. Juan Saavedra Director de Tesis

Por su ayuda y colaboración para la realización de este Trabajo.

DEDICATORIA

A NUESTROS PADRES Y HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Holger Cevallos

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Cristóbal Mera

VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Gustavo Bermúdez

VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Juan Saavedra

DIRECTOR DEL TOPICO

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 POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

William Gallo Espinoza

Jorge Jaramillo Ortiz

Wilson Velásquez Moran

INDICE GENERAL

| | # Pgs. |
|---|---------------|
| PORTADA | I |
| AGRADECIMIENTO | II |
| DEDICATORIA | III |
| TRIBUNAL DE GRADO | IV |
| DECLARACION EXPRESA | V |
| INDICE | VI-XX |
| | |
| INTRODUCCION | 1 |
| ANTECEDENTES | 2 |
| OBJETIVO Y ALCANCE | 3 |
| INFORMACION DISPONIBLE | 4 |
| | |
| CAPITULO I | |
| | |
| ESTUDIOS BASICOS | 5 |
| 1.1.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO..... | 5 |
| 1.2.- HIDROLOGÍA..... | 5 |
| 1.2.1.- ANÁLISIS MATEMÁTICO DE CAUDAL VS. NIVEL... | 6 |
| 1.2.2.- CURVA DE CAUDAL..... | 9 |
| 1.2.3.- HIDROLOGIA DEL PROYECTO CHANCHAN ALTO Y CHANCHAN BAJO..... | 14 |
| 1.2.4.- MÉTODO DE LAS CURVAS ISOYETAS..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 1.3.-GEOLOGIA..... | 17 |
| 1.4.-DIAGNOSTICO AMBIENTAL PRELIMINAR..... | 19 |
| 1.4.1.-POBLACION Y TURISMO | 19 |
| 1.4.2.-ACTIVIDADES AGRICOLAS..... | 19 |
| 1.4.3.-CLIMA Y VIDA SILVESTRE..... | 20 |

CAPITULO II

| | |
|--|-----------|
| DISEÑO DEL PROYECTO | 21 |
| 2.1.- DESCRIPCION DEL RIO | 21 |
| 2.2.- DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO EN ARC GIS.... | 22 |
| 2.2.1.-ESQUEMA ARCGIS DE LOS PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y CHANCHAN BAJO..... | 26 |
| 2.3.-OBRAS CIVILES E HIDRAULICAS | 30 |
| 2.3.1.-SISTEMA HIDRAULICO GENERAL..... | 30 |
| 2.3.2.-RESERVORIO DE REGULACION..... | 32 |
| 2.3.3.-PRESA Y VERTEDERO | 33 |
| 2.3.4.-DESARENADOR..... | 33 |
| 2.3.5.-TANQUE DE CARGA | 34 |
| 2.3.6.-CONDUCCION..... | 35 |
| 2.3.7.-CASA DE MAQUINAS | 37 |
| 2.3.8.-CANAL DE RESTITUCION..... | 38 |
| 2.4.-OBRAS ELECTROMECHANICAS | 39 |
| 2.4.1-EQUIPO MECANICO | 40 |

| | |
|------------------------------|----|
| 2.4.2-EQUIPO ELECTRICO | 43 |
|------------------------------|----|

CAPITULO III

| | |
|---|-----------|
| PRESUPUESTO DE OBRAS | 46 |
| 3.1.-INTRODUCCION..... | 46 |
| 3.2.-COSTOS UNITARIOS..... | 47 |
| 3.3.-OBRAS CIVILES..... | 50 |
| 3.4.-OBRAS MECANICAS | 55 |
| 3.5.-OBRAS ELECTRICAS | 56 |
| 3.6.-INTERCONEXION CON EL SIN..... | 57 |
| 3.7.-PRESUPUESTO REFERENCIAL DE CONSTRUCCION..... | 58 |

CAPITULO IV

| | |
|--|-----------|
| PRODUCCIONES ENERGETICAS..... | 60 |
| 4.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO..... | 61 |
| 4.1.1.-DATOS GENERALES PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA..... | 61 |
| 4.2 DATOS DE DISEÑOS DE LOS PROYECTOS..... | 62 |
| 4.2.1 DATOS DE DISEÑO DE CHANCHAN ALTO..... | 62 |
| 4.2.2 DATOS DEL RESERVORIO Y COEFICIENTE ENERGÉTICO..... | 64 |

| | |
|--|----|
| 4.2.3 DATOS DE SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN..... | 65 |
| 4.2.4 DATOS DE CAUDALES NATURALES Y CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO. | 66 |
| 4.2.5 DATOS DE DISEÑO DE CHANCHAN BAJO..... | 68 |
| 4.2.6 DATOS DEL RESERVORIO Y COEFICIENTE ENERGÉTICO..... | 69 |
| 4.2.7 DATOS DE SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN..... | 70 |
| 4.2.8 DATOS DE CAUDALES NATURALES Y CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO..... | 71 |
| 4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CHANCHAN ALTO | 73 |
| 4.3.1 CAUDALES DE LA SERIE SINTÉTICA GENERADA..... | 74 |
| 4.3.2 CAUDAL TURBINADO. | 74 |
| 4.3.3 CAUDAL EXCEDENTE..... | 75 |
| 4.3.4 CAPACIDAD MÁXIMA Y RELACIÓN CON LA CAPACIDAD INSTALADA..... | 75 |
| 4.3.5 GENERACIÓN PROMEDIO MENSUAL..... | 77 |
| 4.3.6 CURVA DE DURACIÓN DE ENERGÍA Y ENERGÍA FIRME..... | 77 |
| 4.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CHANCHAN BAJO..... | 79 |
| 4.4.1 CAUDALES DE LA SERIE SINTÉTICA GENERADA..... | 80 |
| 4.4.2 CAUDAL TURBINADO. | 80 |
| 4.4.3 CAUDAL EXCEDENTE..... | 80 |
| 4.4.4 CAPACIDAD MÁXIMA Y RELACIÓN CON LA CAPACIDAD INSTALADA..... | 81 |

| | |
|--|----|
| 4.4.5 GENERACIÓN PROMEDIO MENSUAL..... | 82 |
| 4.4.6 CURVA DE DURACIÓN DE ENERGÍA Y ENERGÍA FIRME..... | 83 |

CAPITULO V

| | |
|---|-----------|
| EVALUACION ECONOMICA..... | 85 |
| 5.1 DETERMINACIÓN DE LA REMUNERACIÓN POR VENTAS EN EL MERCADO | 85 |
| 5.2 REMUNERACIÓN POR ENERGÍA ENTREGADA AL MEM | 86 |
| 5.3 CÁLCULO DE LA REMUNERACIÓN PARA CHANCHAN..... | 87 |
| ALTO | |
| 5.3.1 CÁLCULO DE LA REMUNERACIÓN POR ENERGÍA PARA CHANCHAN ALTO..... | 87 |
| 5.3.2 REMUNERACIÓN POR POTENCIA..... | 89 |
| 5.3.3 INGRESOS TOTALES..... | 92 |
| 5.3.4 HIPÓTESIS DE CÁLCULO..... | 93 |
| 5.3.5 RESULTADOS TIR Y VAN | 96 |
| 5.4 CÁLCULO DE LA REMUNERACIÓN PARA CHANCHAN.... | 96 |
| BAJO | |
| 5.4.1 CÁLCULO DE LA REMUNERACIÓN POR ENERGÍA PARA CHANCHAN BAJO..... | 97 |
| 5.4.2 REMUNERACIÓN POR POTENCIA..... | 99 |
| 5.4.3 INGRESOS TOTALES..... | 102 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 5.4.4 HIPÓTESIS DE CÁLCULO..... | 104 |
| 5.4.5 RESULTADOS TIR Y VAN..... | 106 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

| | | # Pgs. |
|------------------|--|--------|
| FIGURA 1 | CURVAS ISOYETAS..... | 15 |
| FIGURA 2 | Alternativa Ch 1 (Proyecto Chanchan Alto)..... | 27 |
| FIGURA 3 | Alternativa Ch2 (Proyecto Chanchan Bajo)..... | 28 |
| FIGURA P1 | PFIRM: DATOS GENERALES P. CHANCHAN..... | 62 |
| FIGURA P2 | PFIRM: DATOS DE PLANTA CH. ALTO | 63 |
| FIGURA P3 | PFIRM: DATOS DE RESERVORIO CH. ALTO..... | 65 |

| | | |
|------------------|--|----|
| FIGURA P4 | PFIRM: DATOS DE OPERACIÓN CH. ALTO..... | 66 |
| FIGURA P5 | SERIE DE CAUDALES PROMEDIO ACTUALIZADO DEL APROVECHAMIENTO CH. ALTO MENOS EL CAUDAL ECOLÓGICO (0.45 M3/SEG)..... | 67 |
| FIGURA P6 | PFIRM: DATOS DE PLANTA CH. BAJO..... | 68 |
| FIGURA P7 | PFIRM: DATOS DE RESERVORIO CH. BAJO..... | 70 |
| FIGURA P8 | PFIRM: DATOS DE OPERACIÓN CH. BAJO..... | 71 |
| FIGURA P9 | SERIE DE CAUDALES PROMEDIO ACTUALIZADO DEL APROVECHAMIENTO CH. BAJO MENOS EL CAUDAL ECOLÓGICO (0.498 M3/SEG)..... | 72 |

INDICE DE TABLAS

| | | # Pgs. |
|-------------------|---|---------------|
| TABLA I | Registro de niveles y caudales..... | 1 |
| TABLA II | Curva de duración de caudales..... | 12 |
| TABLA III | Coeficiente de transposición..... | 16 |
| TABLA IV | Proyecto río Chanchan Alto/Bajo..... | 29 |
| TABLA V | Dimensiones del desarenador..... | 34 |
| TABLA VI | Dimensiones de Tanque de carga..... | 35 |
| TABLA VII | Tramos de conducción Chanchan Alto/Bajo..... | 36 |
| TABLA VIII | Presupuesto De obras Chanchan Alto..... | 51 |
| TABLA IX | Presupuesto de obras Chanchan Bajo..... | 53 |
| TABLA X | Costo de equipos electromecánicos y mecánicos.... | 56 |
| TABLA XI | Costo de los equipos eléctricos..... | 57 |
| TABLA XII | Presupuesto referencial del proyecto | |
| | Chanchan Alto..... | 58 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| TABLA XIII | Presupuesto referencial del proyecto Chanchan Bajo..... | 59 |
| TABLA XIV | Resumen de los resultados de la Serie Sintética del PFirm para proyecto Río Chanchan Alto valores Promedios para 100 años de simulación..... | 73 |
| TABLA XV | Análisis de Potencia a remunerar para Chanchan Alto..... | 78 |
| TABLA XVI | Resumen de los resultados de la Serie Sintética del PFirm para proyecto Río Chanchan Bajo valores Promedios para 100 años de simulación..... | 79 |
| TABLA XVII | Análisis de potencia a remunerar para P. Chanchan Chanchan Bajo..... | 84 |
| TABLA XVIII | Remuneración por energía para los 50 años de la Vida del proyecto Chanchan Alto..... | 87 |
| TABLA XIX | Remuneración por potencia para los 50 años de Vida útil del proyecto Chanchan Alto..... | 90 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| TABLA XX | Ingresos totales por concepto de venta de energía Y potencia puesta a disposición para Chanchan Alto..... | 92 |
| TABLA XXI | Resumen de los Parámetros para la Evaluación Económica para Chanchan Alto..... | 95 |
| TABLA XXII | Remuneración por energía para los 50 años de la Vida del proyecto Chanchan Bajo..... | 97 |
| TABLA XXIII | Remuneración por potencia para los 50 años de Vida útil del proyecto Chanchan Bajo..... | 100 |
| TABLA XXIV | Ingresos totales por concepto de venta de energía Y potencia puesta a disposición para Chanchan Bajo..... | 102 |
| TABLA XXV | Resumen de los Parámetros para la Evaluación Económica para Chanchan Bajo..... | 106 |

INDICE DE GRAFICAS

| | | # Pgs. |
|------------------|---|---------------|
| GRAFICA 1 | CAUDAL VS. NIVEL..... | 8 |
| GRAFICA 2 | CURVA DE CAUDALES DIARIOS..... | 13 |
| GRAFICA 3 | CURVA DE PROBABILIDADES DE POTENCIA P. CH. ALTO..... | 76 |
| GRAFICA 4 | CURVA PROBABILIDAD DE ENERGIA P. CH. ALTO..... | 78 |
| GRAFICA 5 | CURVA DE PROBABILIDADES DE POTENCIA P. CH. BAJO..... | 82 |
| GRAFICA 6 | CURVA PROBABILIDAD DE ENERGIA P. CH. BAJO..... | 83 |
| GRAFICA 7 | COSTOS MARGINALES DE ENERGIA..... | 86 |

INDICE DE ANEXOS

| TIPO | TITULO | |
|-------------|---|------------------|
| FIGURA | MAPA DE UBICACIÓN RIO CHANCHAN | ANEXO 1 |
| FIGURAS | METODO DE CURVAS ISOYETAS | ANEXO 1.1 |
| TABLA | CAUDALES DIARIOS 1991-2005 | ANEXO 2 |
| TABLA | DIMENSIONAMIENTO Y PRESUPUESTO DETALLADO DE PROYECTO CHANCHAN ALTO. | ANEXO 3.1 |
| TABLA | DIMENSIONAMIENTO Y PRESUPUESTO DETALLADO DE PROYECTO CHANCHAN BAJO. | ANEXO 3.2 |
| TABLA | SERIE DE CAUDALES PARA 100 AÑOS PROYECTO CH. ALTO | ANEXO 4.1 |

| | | |
|-------|--|------------------|
| TABLA | SERIE DE CAUDALES PARA 100 AÑOS PROYECTO CH. BAJO | ANEXO 4.2 |
| TABLA | CAPACIDAD MENSUAL DE POTENCIA GENERADA PARA 100 AÑOS PROYECTO CHANCHAN ALTO. | ANEXO 4.3 |
| TABLA | CAPACIDAD MENSUAL DE POTENCIA GENERADA PARA 100 AÑOS PROYECTO CHANCHAN BAJO. | ANEXO 4.4 |
| TABLA | CAPACIDAD MENSUAL DE ENERGIA GENERADA PARA 100 AÑOS PROYECTO CHANCHAN ALTO. | ANEXO 4.5 |
| TABLA | CAPACIDAD MENSUAL DE ENERGIA GENERADA PARA 100 AÑOS PROYECTO CHANCHAN BAJO. | ANEXO 4.6 |
| TABLA | INGRESOS POR POTENCIA Y ENERGIA | ANEXO 5.1 |

PROYECTO CHANCHAN ALTO

| | | |
|--------|---|------------------|
| TABLAS | ANALISIS FINANCIERO DE CREDITOS PROYECTO CHANCHAN ALTO | ANEXO 5.2 |
| TABLA | COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO PROYECTO CHANCHAN ALTO | ANEXO 5.3 |
| TABLA | FACTIBILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO CHACHAN ALTO | ANEXO 5.4 |
| TABLA | INGRESOS POR POTENCIA Y ENERGIA PROYECTO CHANCHAN BAJO | ANEXO 5.5 |
| TABLAS | ANALISIS FINANCIERO DE CREDITOS PROYECTO CHANCHAN BAJO | ANEXO 5.6 |
| TABLA | COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO PROYECTO CHANCHAN BAJO | ANEXO 5.7 |
| TABLA | FACTIBILIDAD FINANCIERA DEL | ANEXO 5.8 |

PROYECTO CHACHAN BAJO

| | | |
|----------|--|----------------|
| PLANO C1 | DESARENADOR PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y BAJO | ANEXO 6 |
| PLANO C2 | TANQUE DE CARGA PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y BAJO | ANEXO 6 |
| PLANO C3 | CONDUCCION PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y BAJO | ANEXO 6 |
| PLANO C4 | CASA DE MAQUINAS PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y BAJO | ANEXO 6 |
| PLANO C5 | CASA DE MAQUINAS PROYECTO CHANCHAN ALTO | ANEXO 6 |
| PLANO C6 | CASA DE MAQUINAS PROYECTO CHANCHAN BAJO | ANEXO 6 |
| PLANO C7 | TUBERIA DE PRESION PROYECTOS CHANCHAN ALTO Y BAJO | ANEXO 6 |

INTRODUCCION

Actualmente la generación eléctrica en el Ecuador esta en un punto critico, con constantes amenazas de racionamientos eléctricos, por lo que es imperiosa la necesidad de buscar soluciones a este problema que nos afecta a todos.

Conciente de esto, sabemos que la única solución es la de generar mas energía eléctrica, y la mejor opción es haciéndola mediante los recursos renovables con los que por naturaleza contamos, los ríos.

El Ecuador gracias a la presencia de la Cordillera de los Andes cuenta con innumerables caídas de agua tanto hacia la zona oriental, como a la zona costera las que pueden ser muy bien aprovechadas para la explotación eléctrica, muchas de las cuales ya se encuentran en diferentes estados de estudio.

Nuestro proyecto se centrara a la zona costera, en específico, a la cuenca del río Guayas utilizando las aguas del río CHANCHAN.

ANTECEDENTES

En un intento por reactivar los proyectos hidroeléctricos realizados por el INECEL antes de su desaparición, la Escuela Superior Politécnica del Litoral mediante tópico de graduación seleccionó uno de los proyectos hidroeléctricos cuya información disponible se encuentra en estado avanzado, el cual es denominado Chanchan. Para objeto de la presente tesis se consideró como guía los estudios realizados por el INECEL desde el año de 1991 hasta el año de 2005 partiendo desde un estudio de Prefactibilidad realizada en el año 1980 del proyecto seleccionado. Estos estudios fueron obtenidos de los archivos del ex INECEL.

OBJETIVOS Y ALCANCE

La presente tesis tiene los siguientes objetivos:

- Actualizar y Optimizar el proyecto hidroeléctrico Chanchan mediante la actualización de costos y producciones energéticas para el análisis económico respectivo.
- Utilización de herramientas computacionales para la simulación de producciones energéticas basadas en una serie mucho más amplia de caudales promedios mensuales.
- Determinar si el proyecto es o no recomendable en base a los índices obtenidos del estudio económico.
- Actualizar el estudio hidrológico basado en una serie de caudales diarios correspondiente a los años desde 1991 a 2005.
- Ayudar a solucionar los problemas energéticos del país promocionando los proyectos hidroeléctricos de mediana capacidad.

INFORMACION DISPONIBLE.

Al ser un proyecto que se encuentra en estado de prefactibilidad, existen gran cantidad de datos que nos pueden ayudar en la realización del proyecto.

Se contaba con datos hidrológicos, en la documentación facilitada. Pero se prefirió ir al INHAMI donde se obtuvieron datos de caudal actualizados, desde 1991 hasta el año 2005, lo que nos acerca más a la realidad actual del río.

Los datos fueron tomados en la estación hidrológica Chanchan DJ Huataxi, código H-375; la que se encuentra ubicada en la provincia del Chimborazo.

CAPITULO I

Estudios Básicos

1.1.- Descripción del Área de Estudio

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, pasando por sectores poblados, los cuales entre los de mayor representación es Alausí y el famoso cantón de Huigra, puntos en los cuales se tomaran como base para luego ir a reconocer el proyecto, una mejor ubicación la podemos tener si tomamos como referencia el mapa del ANEXO 1.

A su vez el río Chanchan tiene como sub. Cuencas el río Alausí y el río Pumachaca y río Zula como los más importantes, los cuales en su unión forman el Chanchan.

1.2.- Hidrología

Para el análisis del caudal de diseño de las aguas del Río Chanchan, contamos con los datos hidrológicos de caudal y de nivel de la estación hidrológica DJ Chanchan Huataxi, conocida con el código H-375. Cuya ubicación es de aproximadamente 2 kilómetros de la rivera

mas cercana al Río, en las coordenadas UTM (727796,556181 E 9747692,477693 N).

Los datos se encuentran recopilados desde el año 1991 hasta el 2005 dando un total de 15 años que serán la base de nuestro estudio hidrológico, algunos años tienen sus datos recopilados en caudales, otros en niveles y otros años tienen sus datos recopilados en años y niveles.

Para la realización de nuestra curva de caudales necesitamos tener nuestros datos en caudales, por lo que los años que tienen sus datos en niveles necesitan un tratamiento especial, para poder correlacionarlos a caudales y presentar sus datos en esta forma.

1.2.1.-Análisis matemático de Caudal vs. Nivel

Para poder llevar los datos de nivel a caudal, se aprovecho el hecho de que en varios años existían datos de caudal y nivel en forma paralela, lo que mediante un análisis matemático, permitió encontrar la correlación entre los mismos.

Para dicho análisis se aprovecha el año 1997 del cual contamos con sus respectivos datos de niveles en centímetro y caudal.

En la tabla I se muestra los datos de nivel y de caudal de los tres primeros meses de el año 1997, con los cuales se procede ha realizar la curva de correlación.

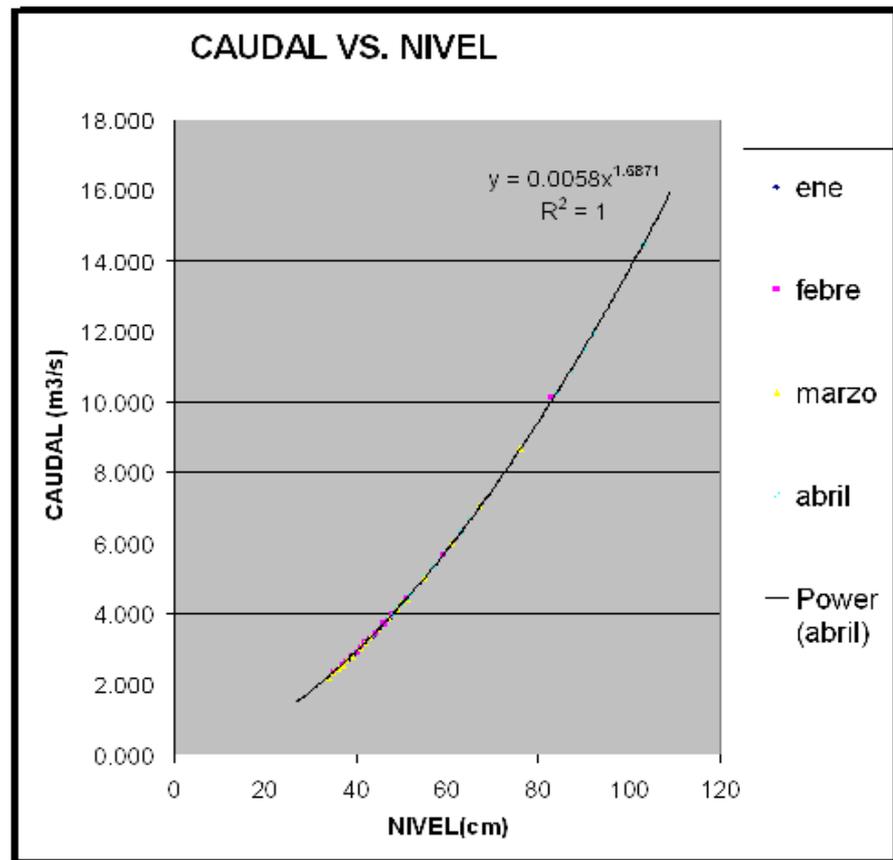
TABLA I

Registros de Niveles y Caudales

| AÑO 1997 | | | | | | | | |
|----------|---------|-----|-----|-----|----------|--------|-------|--------|
| DIA | NIVELES | | | | CAUDALES | | | |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | ENE | FEB | MAR | ABR |
| 1 | 47 | 44 | 38 | 42 | 3.846 | 3.451 | 2.669 | 3.176 |
| 2 | 47 | 51 | 36 | 53 | 3.846 | 4.421 | 2.431 | 4.720 |
| 3 | 47 | 43 | 35 | 55 | 3.846 | 3.303 | 2.316 | 5.027 |
| 4 | 45 | 42 | 34 | 51 | 3.571 | 3.171 | 2.201 | 4.421 |
| 5 | 44 | 42 | 34 | 48 | 3.435 | 3.171 | 2.201 | 3.986 |
| 6 | 45 | 83 | 34 | 47 | 3.571 | 10.124 | 2.201 | 3.846 |
| 7 | 43 | 59 | 35 | 47 | 3.303 | 5.669 | 2.316 | 3.846 |
| 8 | 45 | 51 | 37 | 49 | 3.571 | 4.421 | 2.550 | 4.130 |
| 9 | 47 | 48 | 42 | 53 | 3.846 | 3.986 | 3.188 | 4.720 |
| 10 | 44 | 47 | 41 | 55 | 3.435 | 3.846 | 3.044 | 5.027 |
| 11 | 47 | 44 | 43 | 51 | 3.846 | 3.435 | 3.303 | 4.421 |
| 12 | 45 | 43 | 49 | 54 | 3.571 | 3.303 | 4.130 | 4.872 |
| 13 | 43 | 41 | 49 | 84 | 3.303 | 3.044 | 4.138 | 10.266 |
| 14 | 41 | 39 | 45 | 109 | 3.044 | 2.793 | 3.571 | 15.880 |
| 15 | 39 | 38 | 42 | 103 | 2.793 | 2.669 | 3.176 | 14.440 |
| 16 | 40 | 37 | 39 | 92 | 2.916 | 2.550 | 2.793 | 11.955 |
| 17 | 40 | 35 | 37 | 90 | 2.916 | 2.316 | 2.550 | 11.520 |
| 18 | 39 | 41 | 37 | 87 | 2.793 | 3.044 | 2.550 | 10.886 |
| 19 | 37 | 40 | 38 | 77 | 2.550 | 2.916 | 2.669 | 8.870 |
| 20 | 37 | 46 | 49 | 71 | 2.550 | 3.723 | 4.130 | 7.739 |
| 21 | 35 | 47 | 50 | 65 | 2.316 | 3.846 | 4.278 | 6.669 |
| 22 | 35 | 48 | 55 | 63 | 2.316 | 3.990 | 5.027 | 6.326 |
| 23 | 36 | 42 | 76 | 59 | 2.431 | 3.171 | 8.690 | 5.662 |
| 24 | 37 | 43 | 67 | 57 | 2.550 | 3.303 | 7.026 | 5.341 |
| 25 | 35 | 40 | 61 | 54 | 2.316 | 2.916 | 5.991 | 4.872 |
| 26 | 35 | 40 | 55 | 52 | 2.316 | 2.916 | 5.027 | 4.569 |
| 27 | 36 | 40 | 51 | 51 | 2.431 | 2.916 | 4.421 | 4.421 |
| 28 | 36 | 39 | 49 | 50 | 2.431 | 2.793 | 4.130 | 4.274 |
| 29 | 41 | | 51 | 45 | 3.044 | | 4.421 | 3.579 |
| 30 | 39 | | 47 | 48 | 2.793 | | 3.846 | 3.986 |
| 31 | 38 | | 45 | | 2.669 | | 3.571 | |

Fuente: INAMHI

La curva de correlación que se presenta en la grafica I, muestra la relación existente entre los caudales y niveles del río Chanchan.



Fuente: Investigación Propia

Grafica 1

Con la grafica realizada se evidencia que la relación entre caudales y niveles vienen dadas por la relación mostrada en la Ecuación 1

$$Q = 0.0058N^{1.6871} m^3 / s$$

ECUACION 1

Con esta relación matemática se prosigue a transformar los datos que tenemos en nivel a caudales.

Los datos que serán transformados serán los de los años 1991, 1998, el año 1999 y 2001, los restantes ya se encontraban tomados directamente en caudales.

1.2.2.- Curva de Caudal

Una vez que tenemos todos los datos en caudal procedemos a realizar análisis estadístico para poder hallar nuestro caudal de diseño y ecológico, el total de datos recopilados se encuentran en las tablas presentadas en el ANEXO 2.

Un requerimiento indispensable para lograr un buen manejo del recurso hídrico, es el conocimiento de la disponibilidad del mismo y de sus valores extremos, o sea, la producción de la ocurrencia del agua a largo y corto plazo.

El principal objetivo de la predicción de la disponibilidad del agua es determinar el origen, la ocurrencia, la calidad y variabilidad en el tiempo y en el espacio de las aguas para su correcto control y uso, y en especial para nuestros objetivos, tener un correcto dimensionamiento de nuestras unidades y equipos en general.

Para la predicción de la disponibilidad y variabilidad del agua, la hidrología hace uso de técnicas que se apoyan en las estadísticas matemáticas.

Estos métodos se basan en los antecedentes hidrológicos que se han conseguido en el INAHMI y se basa en el hecho de que lo ocurrido en el pasado puede ocurrir en el futuro.

La información que necesitamos para relacionar los datos hidrológicos, con la frecuencia de repetición de las mismas viene dada mediante la elaboración de la CURVA DE DURACION.

La base de la información dada en dicha curva es la de indicar el porcentaje en que el evento hidrológico es igual o mayor que un valor determinado.

La curva de duración generalmente se presenta en un gráfico con las magnitudes como ordenadas y los porcentajes de tiempo como abscisas, dado en registro de n valores, para un periodo definido.

Para la realización de la misma se sigue el siguiente procedimiento:

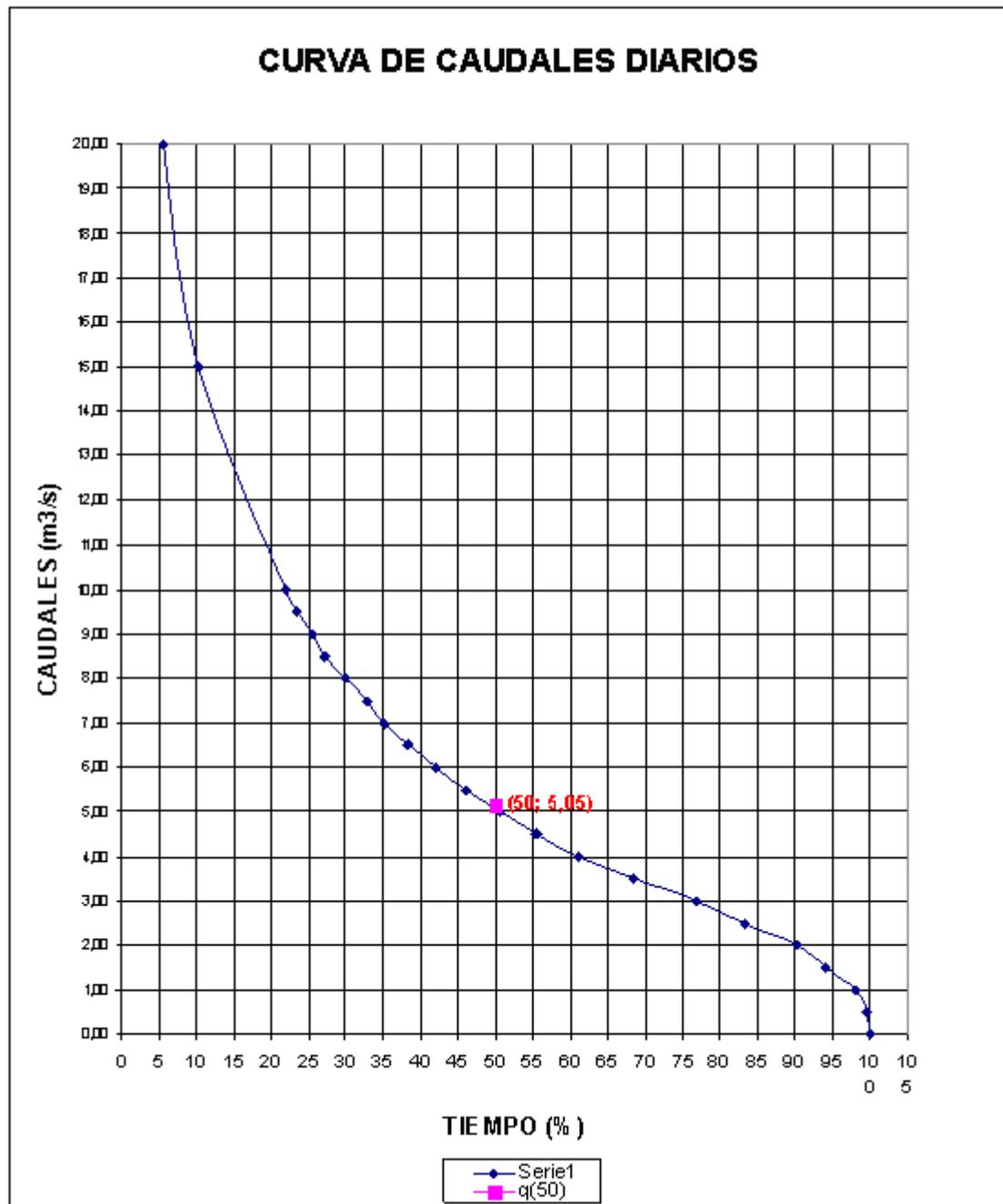
- 1.-Se dividen los n intervalos en intervalos de clase de igual tamaño
- 2.-Se determina el número de valores que quedan comprendidos en cada uno de los intervalos de clase. Este número se convierte en porcentaje al dividirlo para n .
- 3.- Al diagramar este porcentaje contra el límite inferior del intervalo de clases correspondiente, se obtiene la curva de duración.

Para ilustrar el proceso se muestra en el cuadro II los valores obtenidos del análisis estadístico de los datos hidrológicos obtenidos de la estación DJ CHANCHAN HUATAXI, y en la grafica 2 se encuentra la curva de duración, la cual contiene graficado los datos de las columnas 2 y 5 la tabla 2.

TABLA II**Curva de Duración de Caudales**

| INTERVALO DE CLASE (M3/SEG) | LIMITE INFER DEL INTERVALO (M3/SEG) | Nº DE OCURREN EN EL INTERVALO | Nº DE VALORES >= QUE EL LIMITE INFERIOR | % DE TIEMPO QUE EL CAUDAL ES > LIM INF. |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|---|
| 1) | 2) | 3) | 4) | 5) |
| 0 - 0,499 | 0 | 18 | 5347 | 100,00 |
| 0,5 - 0,999 | 0,5 | 85 | 5329 | 99,66 |
| 1 - 1,499 | 1 | 216 | 5244 | 98,07 |
| 1,5 - 1,999 | 1,5 | 211 | 5028 | 94,03 |
| 2 - 2,499 | 2 | 371 | 4817 | 90,09 |
| 2,5 - 2,999 | 2,5 | 346 | 4446 | 83,15 |
| 3 - 3,499 | 3 | 447 | 4100 | 76,68 |
| 3,5 - 3,999 | 3,5 | 390 | 3653 | 68,32 |
| 4 - 4,499 | 4 | 303 | 3263 | 61,02 |
| 4,5 - 4,999 | 4,5 | 250 | 2960 | 55,36 |
| 5 - 5,499 | 5 | 255 | 2710 | 50,68 |
| 5,5 - 5,999 | 5,5 | 211 | 2455 | 45,91 |
| 6 - 6,499 | 6 | 198 | 2244 | 41,97 |
| 6,5 - 6,999 | 6,5 | 166 | 2046 | 38,26 |
| 7 - 7,499 | 7 | 128 | 1880 | 35,16 |
| 7,5 - 7,999 | 7,5 | 156 | 1752 | 32,77 |
| 8 - 8,499 | 8 | 140 | 1596 | 29,85 |
| 8,5 - 8,999 | 8,5 | 87 | 1456 | 27,23 |
| 9 - 9,499 | 9 | 119 | 1369 | 25,60 |
| 9,5 - 9,999 | 9,5 | 71 | 1250 | 23,38 |
| 10 - 14,999 | 10 | 629 | 1179 | 22,05 |
| 15 - 19,999 | 15 | 253 | 550 | 10,29 |
| 20 - 24,999 | 20 | 136 | 297 | 5,55 |
| 25 - 29,999 | 25 | 90 | 161 | 3,01 |
| 30 - 34,999 | 30 | 50 | 71 | 1,33 |
| 35 - 54,999 | 35 | 18 | 21 | 0,39 |

Fuente: Investigación Propia



Fuente: Investigación Propia

$$Q_{50} = 5,15 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 4,98 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Grafica 2

1.2.3.- Hidrología del Proyecto Chanchan Alto y Chanchan Bajo.

Debido a que los Proyectos Chanchan Alto y Bajo tienen su toma en puntos diferentes, alejados mas de 6 Km. el uno de el otro y debido a que en ese trayecto Chanchan Alto, que esta mas arriba en el río que Chanchan Bajo, pierde grandes afluentes, lo que hace que los datos hidrológicos no sean del todo útiles para Chanchan Bajo, ya que son tomados al pie de la toma de Chanchan Alto.

Por lo que para tener un dato de Caudal de diseño más eficaz para nuestro Chanchan Bajo, es necesario realizar otro análisis hidrológico, donde van a intervenir las áreas de drenaje y las precipitaciones de los datos, que son datos con los que contamos gracias a la base de datos existente en el programa ARC GIS.

1.2.4.- Método de las Curvas Isoyetas

Con el objetivo de encontrar el factor necesario para hallar la relación existente entre el caudal que tenemos en el punto de Chanchan Bajo, y el caudal que nos brinda nuestra estación hidrológica, que como se menciona se encuentra varios kilómetros aguas arriba, se usara del método de las curvas isoyetas, las cuales se presentan junto al río Chanchan en la figura 1.

El método relaciona las áreas de drenaje y las precipitaciones medias ponderadas de las cuencas comparadas, a través de un coeficiente llamado de transposición, que se muestra en la ecuación 2:

$$K_T = \frac{A_i * PMP_i}{A_b * PMP_b} \quad \text{ECUACION 2}$$

A_i y A_b son las áreas de las cuencas de drenaje del sitio de captación y de la estación base respectivamente expresadas en Km^2 , las cuales se pueden apreciar mejor en el ANEXO 1.1, en las figuras 1.1 y 1.2.

PMP_i y PMP_b son los valores de precipitación media ponderada que cae sobre las cuencas de drenaje correspondientes al sitio de captación y a la estación base respectivamente expresado en mm., que se presentan en el mismo anexo 1.1 en las figuras 1.4 y 1.5. Y dichos datos son brindados por la base de datos de programa Arc Gis.

CURVAS ISOYETAS

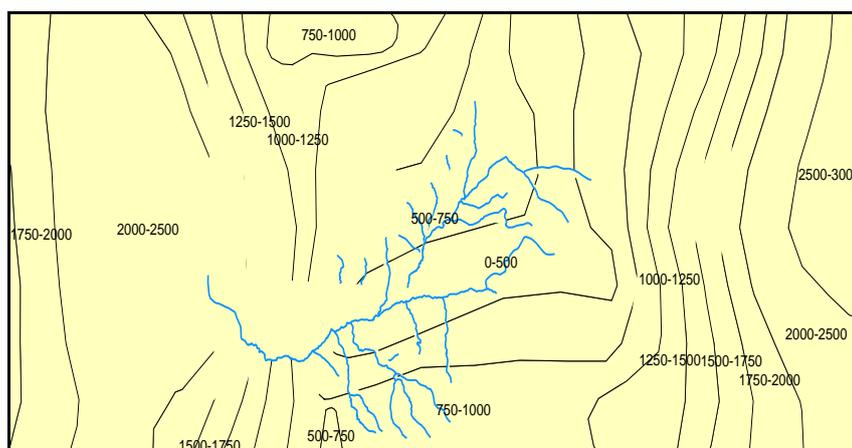


Figura 1

Del análisis realizado se pueden obtener los datos que se presentan en la tabla III con la cual se realizan los cálculos necesarios, para hallar el factor requerido.

TABLA III

COEFICIENTE DE TRANSPOSICION

| | CAPTACION (CH.ALTO) | ESTACION BASE (CH. BAJO) |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Perimetro (km) | 119,508922 | 136,268075 |
| Area_ 0-500 | 266,154 | 304,103 |
| Area_ 500-750 | 270,354 | 308,377 |
| Area_ 750-1000 | 16,172 | 91,85 |
| Area total (km2) | 552,68 | 704,33 |
| Precip_ 0-500 | 250 | 250 |
| Precip_ 500-750 | 625 | 625 |
| Precip_ 750-1000 | 875 | 875 |
| P1*A1 | 66538,5 | 76025,75 |
| P2*A2 | 168971,25 | 192735,625 |
| P3*A3 | 14150,5 | 80368,75 |
| SUMATORIA | 249660,25 | 349130,125 |
| PMP | 451,7265868 | 495,6911178 |
| COEFICIENTE DE TRANSPOSICION K | | 0.911306 |

Fuente: Investigación Propia

Gracias a este proceso se pudo determinar que el caudal de diseño para nuestro punto de captación, el cual será nuestro punto de toma para el proyecto Chanchan Alto, multiplicando al caudal del Chanchan Bajo por el Factor, tendremos que el caudal de proyecto Chanchan alto será de $4,54 \text{ m}^3 / \text{s}$.

1. 3.- Geología

El estudio previo del terreno podrá llevarse a cabo a partir de la cartografía existente, que afortunadamente está disponible a una escala cada vez más pequeña. La fotografía aérea suministrará suficientes datos para llevar a buen término un primer estudio completado por un minucioso trabajo de campo sobre el que fundamentar este proyecto de aprovechamiento, con el que se llevara a cabo el estudio definitivo de viabilidad

El problema es especialmente agudo en los aprovechamientos de montaña, en donde los procesos de meteorización provocan fenómenos de desintegración y descomposición de las rocas superficiales. En estas áreas, la ubicación de cada una de las estructuras que componen el aprovechamiento vendrá afectada por distintas y diversas circunstancias geomorfológicas.

En particular, en la zona de construcción de la presa se pueden plantear problemas de cimentación sobre formaciones no consolidadas y las fluctuaciones del embalse podrán originar inestabilidades en las laderas mojadas por las aguas.

Aunque en forma general estos sectores están formados de Rocas metamórficas, lo que conforma la base rocosa del terreno, las mismas que han datado de la edad Paleozoica y rocas de edad cretácica de origen magmático.

En una distancia de 35km el río desciende aproximadamente 2500 m. En el área de Huigra el Río Chanchan ha formado un profundo valle encañonado como resultado de la rápida erosión de sedimentos in consolidados.

El lecho rocoso del área es la formación Piñón que aflora como lavas andesísticas afáníticas a porfíricas, piroxénicas, generalmente masivas y homogéneas de color característico gris verdusco.

La Formación Piñón está constituida por basaltos y diabasas toleíticas, típicos de la corteza oceánica (Bristow & Feininger 1977).

Estos sectores están formados de Rocas metamórficas, lo que conforma la base rocosa del terreno, las mismas que han datado de la edad Paleozoica y rocas de edad cretácica de origen magmático

Estas rocas tienen su formación gracias a los afluentes de magma que se han desplazado, a lo largo de los siglos desde la zona volcánica de los Andes hacia las zonas Costeras.

Sobre el lecho rocoso se observa potentes acumulaciones de cenizas, limos, cantos rodados y arenas. Estos materiales han sido mapeados como "terrazas indiferenciadas".

1.4.-Diagnostico Ambiental Preliminar

1.4.1.-Población y Turismo

La zona cuenta con una población de 42.823 habitantes, de los cuales 20.200 son hombres y 22.623 son mujeres. La población urbana es de 5.563 habitantes y la rural de 37.260 personas. La zona Alausí posee grandes atractivos turísticos como la Nariz del Diablo, las Lagunas de Ozogoché, el Camino del Inca, entre otros.

1.4.2.-Actividades Agrícolas

El suelo de esta zona es rico en abonos naturales, por esto pocos agricultores usan abonos químicos. La producción agrícola consiste en: cebada, trigo, habas, arveja, lenteja, maíz, patatas, ocas, mellocos, mashuas y toda clase de hortalizas, la floricultura y horticultura puede

ser una gran región económica, así como anteriormente fue la siembra de anís.

1.4.3.-Clima y Vida Silvestre

En el templado sub.-andino de la zona tenemos todos los animales domésticos, a más de los indicados en ganadería, hay también ganado lanar, caprino, llamas, perros, gatos, cuyes, conejos, etc.; entre las aves silvestres mencionaremos, las tórtolas, torcazas, perdices, gavilanes, gorriones, chirotes, mirlos, quindes, etc.

En el frío andino tenemos; cóndor, curiangués, mirlos, perdices, gavilanes, buitres, conejos, venados, lobos, etc.

El río cuenta con variedad de acceso, la carretera panamericana central bordea casi en paralelo las inmediaciones del río, aparte del sinnúmero de carreteros asfaltados y no asfaltados secundarios, que ayudan al ingreso a la zona, favoreciendo especialmente la agricultura.

CAPITULO II

Diseño del Proyecto

2.1.- Descripción del Río

La cuenca del Río CHANCHAN que es el centro de nuestro estudio se encuentra ubicado integralmente en la provincia del Chimborazo, como se presenta en la figura del ANEXO 1, a la que ya se hizo referencia en el capítulo 1.

La cuenca del Río chanchan que a su vez es una sub.-cuenca del río Guayas, y se centrara específicamente en el Río CHANCHAN, el cual esta ubicado en las coordenadas $78^{\circ}57$ min. W de longitud, y $2^{\circ}16$ min. Sur de Latitud en la provincia de Chimborazo a aproximadamente 75 Km. de la cabecera cantonal Riobamba a una altura promedio de 1800 metros sobre el nivel del mar, a una temperatura promedio de 14 grados centígrados.

El río Chanchan el cual tiene como afluente principal el Río Guasuntos, el río Zula y el Río Alausí, y varias quebradas de menor importancia, lo que hace afluir un significativo caudal hacia el río, este atraviesa varias caseríos del Cantón Alausí, de entre los cuales se

presentan como principales parroquias Huigra, estos ríos recorren por un cause de caprichosas curvaturas y estrechas cascadas, que más allá unido con el Chimbo forman el río Yaguachi que desemboca en el pintoresco Guayas y salen al océano Pacífico.

2.2.-Descripción General del Proyecto en Arc Gis.

Planteamiento del Proyecto Chanchan Alto y Chanchan Bajo

P. Chanchan Alto

En el proyecto Chanchan Alto tenemos que la toma conduce directamente, mediante un canal, las aguas del río hasta un reservorio donde prosigue a la tubería de presión hasta la casa de máquinas ubicada en las proximidades del Río Chanchan, para realizar la respectiva descarga.

La toma es realizada a una altura de 1800 m.s.n.m en las coordenadas UTM 732303,27 E 9750456,96 N metros a partir de la toma se realiza una conducción de una distancia de 1258,93 metros aproximadamente, sobre la misma cota 1800..

Para tener acceso a la toma tenemos que realizar ingresos secundarios, esta se encuentra ubicada a 900 metros de la carretera principal, esta se encuentra ubicada al occidente de la toma y a 600 metros de un

sendero secundario que se encuentra hacia la zona oriental de la toma, esta se encuentra a una distancia de 1400 metros del centro poblado de Pistishi.

La conducción que se realiza sobre la misma cota de la Toma, es totalmente hecha sobre la vegetación existente en la zona, ya que no se encuentran en su camino centros poblados.

Luego de finalizada la conducción se tiene el reservorio el cual será la entrada a la tubería de presión, la cual se encuentra en las coordenadas UTM 731246,5833 E, 9750019,097049 N, la cual esta ubicada a 1900 metros del centro poblado San José. E

La tubería de presión se extiende desde el punto de entrada, cuyos datos fueron mencionados anteriormente, hasta la entrada de la casa de maquinas que se encontrara ubicada en las coordenadas UTM 730730,594819E, 9749937,749564 N ubicada en la cota 1500 m.s.n.m, lo que da una tubería de presión de 607,28 metros aproximadamente desde su inicio hasta la casa de maquinas.

Con este procedimiento tendríamos una caída Bruta de 300 metros, se debe considerar que toda la conducción, tubería de presión y demás

obras civiles se encontraran ubicadas en el lado occidental del río objeto de nuestro estudio.

P. Chanchan Bajo

En el proyecto Chanchan Bajo es realizado aguas abajo con respecto a el proyecto Chanchan Alto, por lo que ambos son excluyentes, de igual forma la toma conduce directamente, mediante un canal, las aguas del río hasta un reservorio donde prosigue a la tubería de presión hasta la casa de máquinas ubicada en las proximidades del Río Chanchan, para realizar la respectiva descarga.

La toma es realizada a una altura de 1400 m.s.n.m en las coordenadas UTM 725354,320535E 9748033,801565N metros a partir de la toma se realiza una conducción de una distancia de 2444,31 metros aproximadamente, sobre la misma cota 1400.

Para tener acceso a la toma tenemos que realizar ingresos secundarios de tramo corto, ya que esta se encuentra ubicada a escasos 90 metros de la carretera principal, esta se encuentra ubicada al occidente de la toma y a 175 metros de un sendero secundario que se encuentra hacia la misma senda occidental de la toma, esta se encuentra a una distancia de 950 metros de la cabecera parroquial de Huigra.

La conducción que se realiza sobre la misma cota de la Toma, a los 80 metros de conducción nos vamos a encontrar con la carretera principal, donde tendrá que tomar las soluciones pertinentes, las mismas que tendrán que tomarse luego de 160 metros, 203 y 245 metros ya que la carretera regresa por la misma cota en varios puntos el resto de la conducción es totalmente hecha sobre la vegetación existente en la zona, ya que no se encuentran en su camino carreteros ni centros poblados.

Luego de finalizada la conducción se tiene el reservorio el cual será la entrada a la tubería de presión, la cual se encuentra en las coordenadas UTM 723608,968889E 9746749,319197N, la cual esta ubicada a 1648 metros de la parroquia de Huigra.

La tubería de presión se extiende desde el punto de entrada, cuyos datos fueron mencionados anteriormente, hasta la entrada de la casa de maquinas que se encontrara ubicada en las coordenadas UTM 723433,638469E, 97466334,901842 N ubicada en la cota 1400 m.s.n.m, lo que da una tubería de presión de 475.61 metros aproximadamente desde su inicio hasta la casa de maquinas.

Con este procedimiento tendríamos una caída Bruta de 200 metros, se debe considerar que toda la conducción, tubería de presión y demás

obras civiles se encontraran ubicadas en el lado occidental del río objeto de nuestro estudio.

2.2.1.- Esquema Arc Gis de los Proyectos Chanchan Alto y Chanchan Bajo.

Mediante el uso del programa Arc Gis se realizo el esquema de los proyectos Chanchan Alto (Alternativa CH1), que se presenta en la figura 2, y Chanchan Bajo (Alternativa CH2), que se presenta en la figura 3, los cuales se obtuvieron de los planos que se encuentran en la base de datos del programa, y mediante esta se puede tener una mejor visualización y ubicación de los proyectos.

En dichas figuras, encontraremos con una coloración azul a los ríos, la coloración café se refiere a las curvas de nivel, que distinguen las diferentes cotas, las cuales fueron graficadas de 100 a 100 metros, y el tono rojo representan el proyecto en si.

En la parte inferior izquierda de dichas figuras, encontraremos la nomenclatura gráfica necesaria, para la mejor comprensión de las mismas, las figuras se muestran a continuación.

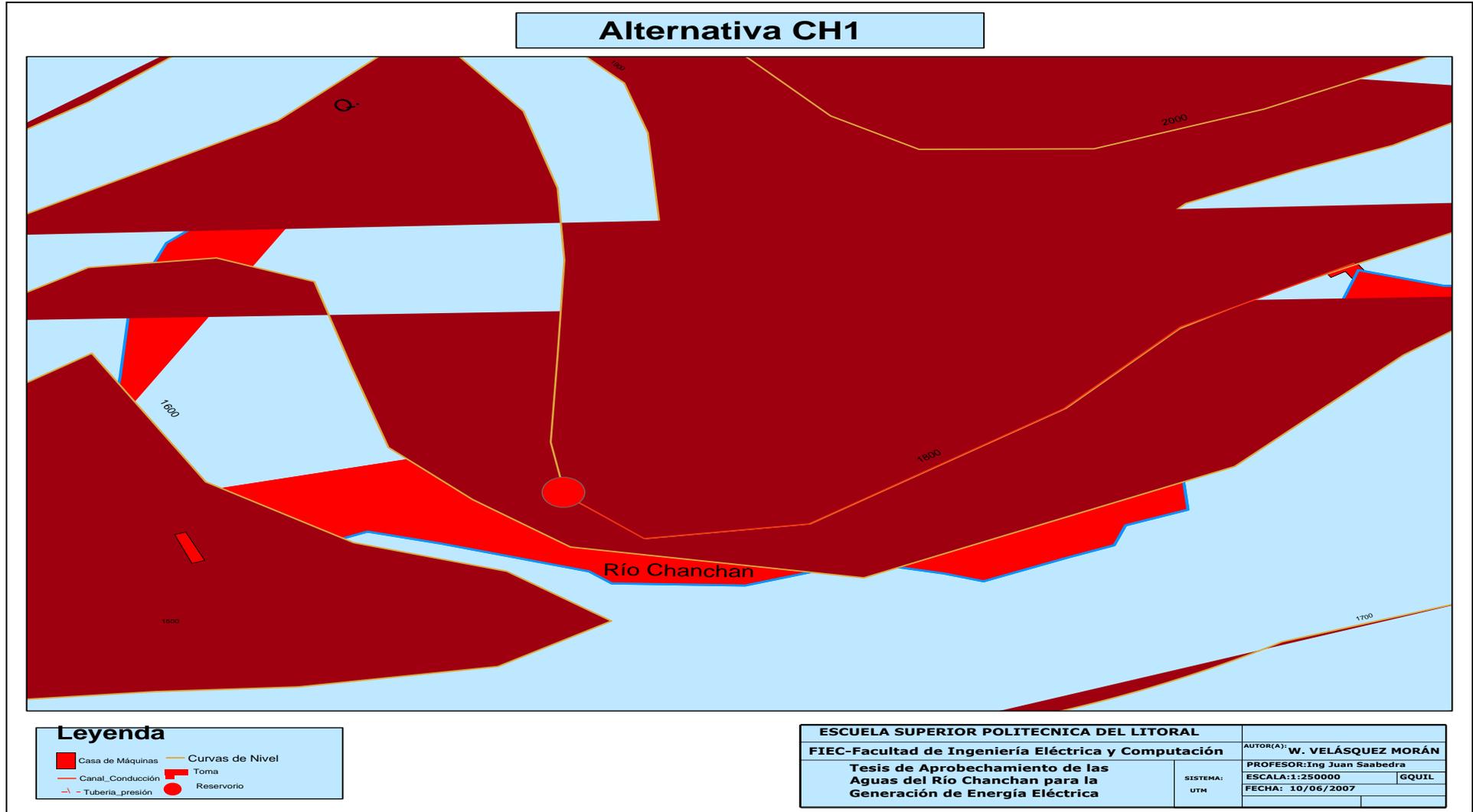


Figura 2

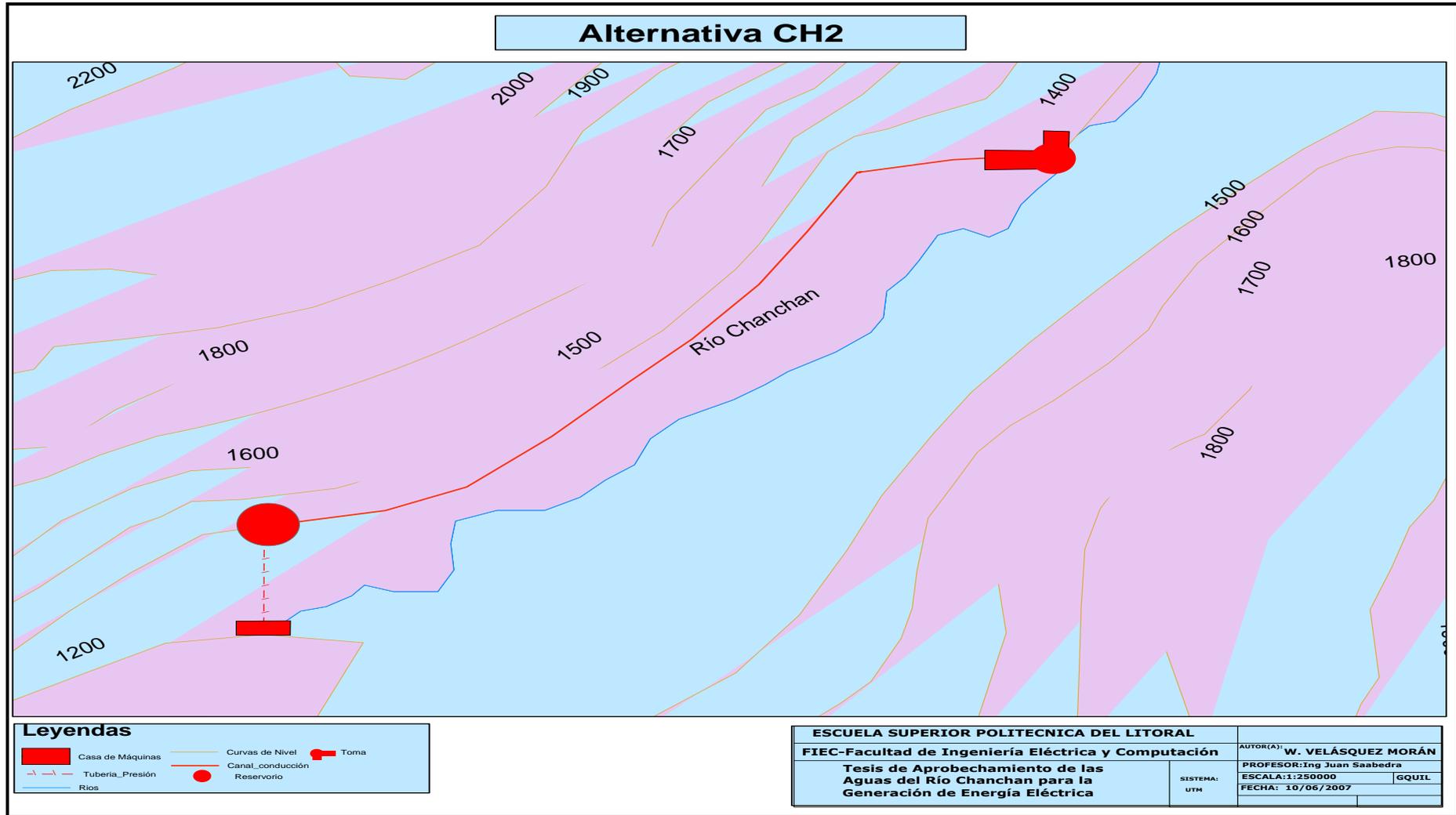


Figura 3

De los planos mostrados anteriormente se obtiene en resumen los datos que se muestran en la tabla IV.

TABLA IV
PROYECTO RIO CHANCHAN ALTO/BAJO

| Proyecto | R. CHANCHAN ALTO | R. CHANCHAN BAJO |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| Cota de cierre (m.s.n.m) | 1800 | 1400 |
| Cota de restitución (m.s.n.m) | 1500 | 1200 |
| Caída neta (m) | 300 | 200 |
| Caudal de diseño (m³/s) | 4,54 | 4,98 |
| Caudal firme (m³/s) | 1,82 | 2,00 |
| Potencia Instalada (MW) | 12,27 | 8,989 |
| Conducción (m) | 1259 | 2444 |
| Tubería de presión (m) | 607 | 476 |

Fuente: Investigación Propia

2.3.-Obras Civiles e Hidráulicas

2.3.1.- Sistema Hidráulico General

El diseño hidráulico del proyecto hidroeléctrico Chanchan está formado por una conducción a presión y conduce las aguas desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas.

Las principales obras del proyecto son:

- Presa de derivación
- Toma desde el embalse
- Desarenador
- Tanque de carga
- Conducción a Presión
- Tubería Forzada
- Casa de máquinas y patio de Maniobras
- Canal de Restitución

El sistema hidráulico ha sido diseñado para un caudal de 5 m³/seg. Considerando crecidas, y teniendo así un modelo estándar para ambos proyectos.

- **Presa de derivación:**

Pequeña presa para desviar el agua hacia la turbina.

- **Toma desde el embalse:**

Zona de la obra donde se capta el agua necesaria para el accionamiento de las turbinas.

- **Desarenador:**

La función principal del desarenador es de sedimentar las partículas sólidas que lleva el agua en suspensión.

- **Tanque de carga:**

La función principal del tanque de carga es almacenar el agua desarenada y verter a la turbina, a través de la tubería de presión.

- **Conducción a Presión:**

Soportan grandes presiones en toda su superficie hechas de acero con juntas de dilatación.

- **Casa de máquinas:**

En la casa de maquinas se ubican maquinas de gran volumen y peso por lo que no se pueden tolerar asientos en su estructura y se ubican en las terrazas fluviales formada a la orillas de los ríos.

- **Canal de Restitución:**

La función principal del canal de descarga es de devolver el agua que pasa a través de las turbinas al cause del río este canal es generalmente corto.

2.3.2.-Reservorio de Regulación

El reservorio del Proyecto Chanchan es de regulación diaria y durara por lapso de 4 horas.

La determinación de la capacidad del reservorio de regulación esta basada en las siguientes condiciones:

- **Condiciones Hídricas;** consideradas como tales las peores condiciones de afluencia de caudal.

- **Condiciones Operacionales;** esto es la adaptación de la operación de la central a la curva de carga del sistema.

- **Condiciones físicas;** es decir condiciones geomorfológicos que permitan su implantación.

Los requerimientos de operación de la central son similares a los del sistema en general y deben satisfacer las siguientes condiciones:

- En la punta (hasta 4 horas)
- En la base (hasta 20 horas)
- En la semibase (10 horas)

2.3.3.-Presa y Vertedero

El acceso al sitio de toma se puede hacer por las carreteras existentes en las dos márgenes del Río Chanchan. La distancia entre la población de Alausí y la presa de derivación es de aproximadamente 6.0 Km. Para el proyecto Chanchan Alto y estará ubicada a 900 metros del cantón Huigra para el proyecto Chanchan Bajo.

El diseño del vertedero ha sido basado en una crecida de 500 m³/seg. Con un periodo de retorno de 100 años.

2.3.4.- Desarenador

El desarenador de ambos proyectos derivados del río Chanchan se encuentran ubicado contiguo a la bocatoma y cuyo acceso se lo hará desde la carretera Panamericana central.

El desarenador constará de tres compuertas, dos compuertas de captación y una compuerta de limpieza. Para una mejor descripción del desarenador se ha tomado como referencia el Plano C1, ubicado en los anexos.

Las dimensiones principales del desarenador se presentan en la tabla v.

TABLA V

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD |
|---------------------------------|--------|------------|
| Excavación de plataforma: común | m3 | 10300,00 |
| Excavación de plataforma: roca | m3 | 10300,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 3800,00 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 3400,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 1000,00 |
| Acero de refuerzo | Kg. | 50000,00 |
| Compuertas | U | 3 de 2 x 3 |

2.3.5.-Tanque de Carga

El tanque de carga del Proyecto Chanchan Alto se encuentra ubicado en la cota 1800 m.s.n.m y para Chanchan Bajo se encuentra en la cota 1400 m.s.n.m después 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 control provisto de rejilla fina y dos compuertas de seguridad.

Las dimensiones principales de esta obra son las mostradas en la tabla VI y su diagrama lo podemos hallar en el plano C2, desde donde se va directamente a la tubería de presión que se presenta en el plano C7.

TABLA VI

| DESCRIPCION | CHANCHAN ALTO | CHANCHAN BAJO | UNIDADES |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Capacidad del vertedero | 4,54 | 4,98 | m3/seg. |
| Elevación del nivel de agua | 1800 | 1400 | m.s.n.m |
| Elevación mínima del agua | 1798 | 1398 | m |
| Longitud del tanque | 12 | 12 | m |
| Ancho del tanque | 4 | 4 | m |

Fuente: Investigación Propia

2.3.6.-Conducción

La conducción de tubería forzada se la realiza con 1259 m. para Chanchan Alto y 2444m para Chanchan Bajo mientras que la tubería de presión y tiene su inicio en la cámara de carga y termina en el distribuidor de la casa de máquinas, con una longitud total de 607 m para Chanchan Alto y 476 m. para Chanchan Bajo cuyo trazado es paralelo a la carretera.

Los tramos característicos del canal de conducción y la tubería de presión se muestran en la tabla VII, y un diagrama en el Plano C3.

TABLA VII

| CONDUCCION | CHANCHAN ALTO | CHANCHAN BAJO | UNIDAD |
|-------------------|---------------|---------------|--------|
| Longitud | 1259 | 2444 | m |
| Ancho de la base | 1.5 | 1.5 | m |
| Pendiente | 0,24 | 0,12 | |

| TUBERIA DE PRESION | CHANCHAN ALTO | CHANCHAN BAJO | UNIDAD |
|---------------------------|---------------|---------------|--------|
| Longitud | 607 | 476 | m |
| Diámetro | 2 | 2 | m |

Fuente: Investigación Propia

Las dimensiones de la conducción fueron obtenidas en un caudal de 5m³/seg. Por lo que la base de su elaboración es la misma para ambos proyectos.

Se procederá a cambiar solo su extensión para uno y otro proyecto y este dará como pérdidas hidráulicas 2.64 m. y 2.91 m. respectivamente para Chanchan alto y chanchan Bajo respectivamente, todos estos datos fueron basándonos en los estudios de INECCEL.

2.3.7.-Casa de Máquinas

El sitio seleccionado para la casa de máquinas del Proyecto Chanchan Alto, tiene un acceso que se lo hará desde un sendero ubicado a escasos 70 metros de la misma, donde se deberá elaborar un camino de acceso.

En el proyecto Chanchan bajo la casa de máquinas se ubicara a 2 Km. del centro poblado de Huigra, el acceso es relativamente fácil, pues se debe realizar un sendero de 167 metros hasta la carretera principal, la estructura de la casa de maquinas será similar en ambos proyectos, por lo que a continuación se generalizara el diseño de la misma.

La casa de máquinas tiene como dimensiones exteriores una longitud de 47 m y un ancho de 20 m. Está dividida en 5 bloques: la nave de montaje y cuatro naves para alojar las cuatro unidades de generación previstas para Chanchan Alto y con tres naves en el caso de Chanchan Bajo, la casa de maquinas se podrá observar en el plano C4 y los plano C5 y C6, presentan la parte interna de la casa de maquinas donde encuentra cada bloque de grupo comprende el equipo electromecánico que pertenece directamente a él, y consta de los elementos que se muestran a continuación.

- Válvula mariposa,
- Turbina Francis de eje horizontal con dispositivos de protección.
- Generador con equipo de interrupción y dispositivos de protección.
- Canal de descarga que desemboca en el canal de restitución en la elevación 352.10
- Tableros de cierre (stoplogs).

2.3.8.-Canal de Restitución

El canal de restitución recolecta las aguas turbinadas de los grupos de turbinas correspondientes y las entrega nuevamente al río. Los niveles de restitución determinados para diferentes condiciones de operación se indican a continuación:

Nivel mínimo de descarga con una unidad en operación 1496 m.s.n.m. Nivel de descarga con cuatro unidades en operación 1497 m.s.n.m. para Chanchan Alto y para Chanchan bajo con una unidad tendrá un cota de restitución de 1197 y con las tres trabajando de 1198.

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

| | | |
|------------------------------------|------|------------|
| Ancho en el fondo | 1.6 | m |
| Talud de las paredes H: V | 1:1 | |
| Calado con 4 unidades en operación | 2.7 | m |
| Pendiente del fondo | 0.02 | % |
| Longitud del canal | 440 | m Ch. Alto |
| | 320 | m Ch. Bajo |
| Cota de la plataforma | 1500 | Ch. Alto |
| | 1200 | Ch. bajo |

2.4.-Obras Electromecánicas

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 INECCEL.

2.4.1.-Equipo Mecánico

Con respecto al equipo mecánico se ha tomado en consideración los elementos más importantes, de manera que si se quiere obtener mayor información por favor referirse a los estudios de INECCEL.

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

Turbinas

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

Válvulas de Entrada (de guardia)

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

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

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 alabes móviles como respuesta a los cambios de carga. Los reguladores serán del tipo electro-hidráulico

Compuertas del Proyecto

En la lista adjunta se presentan todas las compuertas que serán empleadas en el Proyecto Hidroeléctrico Chanchan, 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.

Compuertas de Tipo Radial

Este tipo de compuertas básicamente 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.

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 desarenador, y como compuertas de mantenimiento de las compuertas tipo radial y de las turbinas.

Compuertas Planas con Ruedas

Este tipo de compuerta es muy utilizada y sus características físicas son muy similares a la de las puertas deslizantes, pero estas suelen ser empleadas en condiciones no equilibradas de presión de agua en las dos caras

2.4.2.-Equipo Eléctrico

De la misma manera que se realizó el resumen para equipo mecánico tomando los estudios de INECEL, se realizó un resumen considerando los principales equipos eléctricos, y el cual se presenta a continuación:

Generadores

Se ha acordado que todos los generadores que se van utilizar sean de 3.3 MVA cada uno, con un factor de potencias de 0.9 inductivo, a 4.16 KV +/- 5%: 60 Hz, 720 rpm., se utilizaran 4 para el proyecto Chanchan Alto y 3 Para el proyecto Chanchan Bajo.

Disyuntores de Unidad

Por exigencias mínimas de mantenimiento se recomiendan disyuntores en SF6, con mando trifásico con resorte y motor a corriente continua, corriente nominal 600 amperios, corriente de ruptura nominal 25KA, corriente de falla 1 segundo 25 KA; de diseño normalizado.

Cada disyuntor de unidad irá contenido en el cubículo respectivo de 4.16 Kv. Los disyuntores serán de tipo extraíbles para mantenimiento y pruebas.

Transformador Principal

Una vez realizado el estudio básico de potencia de diseño, se ha previsto un solo transformador de 13.2 MVA de 3 devanados 4.16-69 +/- 2 x 2.5% Kv – 13.8 Kv, 60 Hz, trifásico, sumergido en aceite, para intemperie. Enfriamiento tipo OA/FA, con aire forzado.

El bobinado de 4.16 Kv estará conectado en triangulo y los de 69 Kv y 13.8 Kv en estrella con neutro puesto a tierra.

Sistemas de Servicios Auxiliares

Para mayor eficiencia, se dispondrá de un transformador de servicios auxiliares de 4.16/0.48 Kv y potencia estimada de 300 KVA. Este transformador estará conectado a las barras del cubículo de 4.16 Kv.

La energía para los servicios auxiliares será distribuida a la casa de máquinas y a la subestación a través de los tableros de 480 voltios y de los sub.-tableros de 220/127 voltios.

Subestación

El patio de la subestación se ubica en la parte posterior de la casa de máquinas. Del terciario del transformador principal se dispondrá de una capacidad de 4 MVA a 13.8 Kv para distribuir a los poblados cercanos a la central. Al transformador se lo ha ubicado convenientemente junto a la casa de máquinas para acortar su conexión mediante cables a la barra general de 4.16 Kv así como para dejar libre el espacio necesario para la construcción y montaje de la subestación a 69 Kv. La alimentación a las barras de 69 Kv parte del seccionador.

Los servicios electromecánicos en la bocatoma operarán mediante una derivación de 200 m, con línea aérea a 13.8 Kv, del primario de distribución de la línea.

En caso de necesitar mayor información sobre el diseño de la subestación refiérase a los estudios de INECEL.

CAPITULO III

Presupuesto de Obra

3.1.- Introducción

El presente capítulo tiene la finalidad de establecer y mostrar los criterios y procedimientos que se han realizado para obtener una actualización de los costo del proyecto Chanchan.

Los datos básicos para el cálculo de precios unitarios fueron basados en los precios unitarios del proyecto Hidroeléctrico Angamarca – Sinde, Propuestos por CAMINOSCA; los precios de los equipos eléctricos, electromecánicos y mecánicos fueron obtenidos del la tesis de grado “Aprovechamiento del Río Pita en la Provincia de Bolívar para la construcción de una central (Proyecto Caluma Bajo)”; estos precios les fueron proporcionados por el Departamento de Planificación en el Consejo Provincial del Guayas.

3.2.-Costos Unitarios

Los Precios Unitarios utilizados para el presente estudio son el resultado de un análisis Comparativo del siguiente proyecto, mismo que forman parte de la Base de Datos de CAMINOSCA:

- Proyecto Hidroeléctrico Angamarca – Sinde – 30Mw

El estudio de este proyecto fue realizado por CAMINOSCA, adicionalmente se ha tomado como fuente de consulta y posterior comparación los precios unitarios actualizados a diciembre del 2005 de:

- El Informe de Factibilidad Avanzada del Proyecto Angamarca-Sinde 1984 – (INECEL)

Sobre la base del presupuesto del proyecto mencionado se ha procedido a la actualización de los Precios Unitarios.

Los precios unitarios, son el producto de un proceso constructivo desarrollado en 1984. Sin embargo en la actualidad estos rubros no contemplan los nuevos adelantos tecnológicos de los equipos de construcción, procesos constructivos, metodología de trabajo y el marco legal vigente en el Ecuador.

El presupuesto referencial del Proyecto Hidroeléctrico Chanchan fue realizado con la moneda oficial del Ecuador (sucres), razón por la cual es necesario, para el presente estudio, implementar un procedimiento de actualización de los precios unitarios utilizando la siguiente metodología:

1. Transformación de los Precios Unitarios de sucres a dólares americanos con la tasa de cambio a enero de 1984.

$$PU_i = PU \times TC_{USD}$$

DONDE:

PU_i = Precio unitario (Enero del 1984 usd/amer.)

PU = Precio Unitario (Enero del 1984 en sucres)

TC_{USD} = Tasa de Cambio de sucre de usd/amer.

(1 usd/AMER=54 sucres)

2. Actualización de los precios referenciales en dólares americanos a la fecha de diciembre de 2005 utilizando la formula de interés compuesto.

$$PU_f = PU_i (1 + i)^n$$

Donde:

$PU_f =$ Precio Unitario (Diciembre de 2005 usd/amer.)

$i =$ Tasa de inflación Promedio Anual (2.5%)

$n =$ Número de años

3. Se procedió a la comparación de los precios unitarios actualizados a diciembre de 2005 del diseño básico con la Base de Datos de CAMINOSCA, determinándose el grado de afinidad de los rubros con características similares. En el caso de que los valores de los rubros comparados sean semejantes, se los asimiló como actualizados y en el caso de que existan rubros con sustanciales diferencias se tomó como referencia los indicados en la Base de Datos.

Criterios Generales:

- Se realizó un desglose más detallado de los Equipos Electromecánicos y Equipos Hidromecánicos.
- Se mantuvo los costos de Ingeniería y Administración (10 %)
- Se mantuvo los gastos por imprevistos (8 %)

Una vez definidos los precios unitarios y los volúmenes de obra de las alternativas estudiadas, se han procedido al cálculo de los presupuestos referenciales correspondientes.

3.3.-Obras Civiles

Para las obras civiles se tomo en cuenta los volúmenes de obra de un proyecto que tenia características similares a las del Chanchan, específicamente, caudal y potencia instalada, en lo que se refiere a los ITEM de Azud, Boca toma, Desarenador, Aliviaderos, Casa de Maquina, y Canales de Restitución; todos estos ítems serán tratados de forma estándar para ambos proyectos al tener un similar caudal, considerando que estas obras se realizaran a mayor dimensión que las del causal de diseño considerando crecidas.

Para lo que corresponde a conducción se tomo como referencia el tipo de conducción que tiene el Proyecto Hidroeléctrico Angamarca – Sinde, obteniendo una relación de áreas y longitudes, para de esta manera hallar las longitudes de las conducciones de los proyectos Chanchan Alto y Bajo, las cuales son diferentes, que en dejar la misma área de conducción, pero variando la longitud ya que en ambos proyectos sus longitudes no son iguales, obteniendo de esta manera los datos de las tablas VIII y IX para cada proyecto, con los datos mas importantes, donde también se presentan los costos de los caminos de acceso a las obras, .

TABLA VIII

| PRESUPUESTOS DE OBRAS | | | | |
|---|--------|--------------|-------------------|------------------|
| PRESUPUESTO REFERENCIAL DE DICIEMBRE DEL 2005 | | | | |
| PROYECTO PROPUESTO CHANCHAN ALTO | | | | |
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. Angamarca | P. TOTAL (\$) |
| OBRA CIVIL | | | | |
| AZUD Y BOCATOMA | | | | 605901,16 |
| Excavación común con agua | m3 | 9000,00 | 3,75 | 33750,00 |
| Excavación roca con agua | m3 | 9000,00 | 14,46 | 130140,00 |
| Hormigón, muros y azud | m3 | 2100,00 | 117,02 | 245732,64 |
| Acero de refuerzo | Kg | 96500,00 | 1,56 | 150540,00 |
| Acero estructural | Kg | 1900,00 | 1,62 | 3078,00 |
| Compuertas de sector | U | 1 de 4 x 4 | | 20594,74 |
| Compuertas planas | U | 3 de 2 x 2.5 | | 22065,79 |
| | | | | |
| DESARENADOR | | | | 806723,13 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 10300,00 | 2,95 | 30385,00 |
| Excavación de plataforma: roca | m3 | 10300,00 | 14,46 | 148938,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 3800,00 | 21,68 | 82394,80 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 3400,00 | 70,67 | 240278,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 1000,00 | 211,65 | 211649,05 |
| Acero de refuerzo | Kg | 50000,00 | 1,56 | 78000,00 |
| Acero estructural | Kg | | 137,69 | 367,76 |
| Compuertas | U | 3 de 2 x 3 | | 14710,53 |
| | | | | |
| | | | | 3591122,56 |
| CONDUCCION: CANAL | | | | |
| Replanteo, desbroce y limpieza | ha | 84,00 | 3422,64 | 287501,46 |
| | | | | 1030403,23 |
| Excavación sin clasificar - Plataforma | m3 | 349590,00 | 2,95 | |
| Excavación en roca – Plataforma | m3 | 18390,00 | 10,90 | 200473,04 |
| Excavación sin clasificar – Cajón | m3 | 61980,00 | 4,58 | 283674,33 |
| Excavación en roca – Cajón | m3 | 10950,00 | 22,24 | 243537,68 |
| | | | | 1045212,35 |
| Hormigón de revestimiento para canal | m3 | 5730,00 | 182,41 | |
| Drenaje canal | m | 2919,00 | 5,49 | 16014,49 |
| Sub-base para pavimento del camino | m3 | 2550,00 | 10,64 | 27126,51 |
| Rellenos con material clasificado para plataforma y terraplén | m3 | 21480,00 | 14,93 | 320741,16 |
| Excavación sin clasificar - Obras de Arte | m3 | 360,00 | 6,80 | 2447,22 |
| Hormigón para muros, vigas tablero de obras de arte | m3 | 342,00 | 214,26 | 73277,54 |
| Acero de refuerzo | kg | 39000,00 | 1,56 | 60713,57 |
| | | | | |
| Obra en superficie - (Tapa de hormigón) | | | | 763164,72 |
| Hormigón para muros, vigas tablero de obras de arte | m3 | 2924,40 | 214,26 | 626587,22 |
| Acero de refuerzo | kg | 87732,00 | 1,56 | 136577,50 |
| | | | | |
| Obra en subterráneo - (Túnel a flujo libre) | | | | 740782,03 |
| Excavación en colusión | m3 | 155,52 | 4,58 | 711,79 |
| Excavación en roca - (Subterráneo) | m3 | 2954,88 | 70,67 | 208821,37 |

| | | | | |
|--|----|-------------|---------|------------|
| Hormigón estructural de cemento pórtland - (f'c=240 kg/cm2 - túnel) | m3 | 771,90 | 213,99 | 165181,95 |
| Acero de refuerzo en barras - (fy= 4200 kg/cm2) – Subterráneo | kg | 23157,00 | 1,62 | 37514,34 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 5 cm - Subterráneo) | m2 | 729,00 | 20,63 | 15038,54 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 10 cm - Subterráneo) | m2 | 941,10 | 39,92 | 37569,65 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 15 cm - Subterráneo) | m2 | 190,80 | 54,20 | 10340,50 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 20 cm - Subterráneo) | m2 | 378 | 68,68 | 25959,15 |
| Pernos de Anclaje (diam.=20 mm, incluye: perforación, inyección de mortero de cemento y elementos de fijación) | m | 1411,20 | 28,35 | 40007,52 |
| Marcos de acero para sostenimiento - (ASTM - A36) | kg | 59100,00 | 3,39 | 200349,00 |
| | | | | |
| ALIVIADEROS TIPO | | | | 297422,09 |
| Excavación cajón: común | m3 | 5440,00 | 2,95 | 16048,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 1270,00 | 117,02 | 148609,74 |
| Acero de refuerzo | Kg | 63500,00 | 2,01 | 127615,66 |
| Compuertas | U | 1.40 x 1.40 | | 5148,68 |
| | | | | |
| RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA | | | | 1289645,52 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 167000,00 | | 492650,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 46000,00 | 2,95 | 207619,00 |
| Sub-base de material drenaje | m3 | 4600,00 | 4,51 | 28605,29 |
| Tubería de drenaje | ml | 2300,00 | 6,22 | 7689,59 |
| Hormigón de muros | m3 | 900,00 | 3,34 | 105313,99 |
| Acero de refuerzo | m3 | 3250,00 | 117,02 | 374867,65 |
| Acero estructural | Kg | 45000,00 | 115,34 | 72900,00 |
| Compuertas | U | | 1,62 | |
| | | | | |
| TANQUE DE CARGA | | | | 195491,26 |
| Excavación cajón: común | m3 | 2000,00 | | 9080,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 730,00 | 4,54 | 129940,00 |
| Acero de refuerzo | Kg | 29200,00 | 178,00 | 45552,00 |
| Acero estructural | Kg | 2200,00 | 1,56 | 3564,00 |
| Tubería blindada | U | 1 de 2 x 2 | 1,62 | 7355,26 |
| | | | | |
| | | | | 1637950,83 |
| TUBERIA DE PRESION | | | | |
| Replanteo, desbroce y limpieza | ha | 2,40 | | 8214,33 |
| Excavación sin clasificar - Tubería de presión | m3 | 56320,00 | 3422,64 | 382854,55 |
| Relleno simple | m3 | 8800,00 | 6,80 | 13943,50 |
| | | | | 1232938,45 |
| Hormigón para bloques de apoyo | m3 | 9624,00 | 1,58 | |
| | | | 128,11 | |
| CASA DE MAQUINAS | | | | 216410,26 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 1600,00 | | 4720,00 |
| Excavación de plataforma: roca | m3 | 1600,00 | 2,95 | 23136,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 500,00 | 14,46 | 4081,80 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 500,00 | 8,16 | 35335,00 |

| | | | | |
|--|----|----------|----------|-----------|
| Hormigón en masa | m3 | 610,00 | 70,67 | 71379,48 |
| Hormigón estructural | m3 | 130,00 | | 23469,97 |
| Acero de refuerzo | Kg | 34800,00 | | 54288,00 |
| | | | 1,56 | |
| CANAL DE RESTITUCIÓN | | | | 144244,68 |
| Excavación cajón: común | m3 | 750,00 | | 16262,13 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 750,00 | 21,68 | 53002,50 |
| Hormigón de revestimiento | m3 | 320,00 | 70,67 | 36910,05 |
| Acero estructural | Kg | 23500,00 | | 38070,00 |
| | | | 1,62 | |
| CAMINOS DE ACCESO | | | | 94875,80 |
| Camino de acceso - (Toma del Chanchan) | km | 0,90 | | 70423,27 |
| Camino de acceso - (Reservorio) | km | 0,09 | 78248,08 | 8802,91 |
| Camino de acceso - (Casa de Máquinas) | km | 0,20 | 97810,10 | 15649,62 |
| Mejoramiento de caminos existentes | km | 0,00 | 78248,08 | 0,00 |

TABLA IX

| PRESUPUESTO REFERENCIAL DE DICIEMBRE DEL 2005 | | | | |
|---|--------|--------------|-------------------|------------------|
| PROYECTO PROPUESTO CHANCHAN BAJO | | | | |
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. Angamarca | P. TOTAL (\$) |
| AZUD Y BOCATOMA | | | | 605901,16 |
| Excavación común con agua | m3 | 9000,00 | 3,75 | 33750,00 |
| Excavación roca con agua | m3 | 9000,00 | 14,46 | 130140,00 |
| Hormigón, muros y azud | m3 | 2100,00 | 117,02 | 245732,64 |
| Acero de refuerzo | Kg | 96500,00 | 1,56 | 150540,00 |
| Acero estructural | Kg | 1900,00 | 1,62 | 3078,00 |
| Compuertas de sector | U | 1 de 4 x 4 | | 20594,74 |
| Compuertas planas | U | 3 de 2 x 2.5 | | 22065,79 |
| | | | | |
| DESARENADOR | | | | 806723,13 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 10300,00 | 2,95 | 30385,00 |
| Excavación de plataforma: roca | m3 | 10300,00 | 14,46 | 148938,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 3800,00 | 21,68 | 82394,80 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 3400,00 | 70,67 | 240278,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 1000,00 | 211,65 | 211649,05 |
| Acero de refuerzo | Kg | 50000,00 | 1,56 | 78000,00 |
| Acero estructural | Kg | | 137,69 | 367,76 |
| Compuertas | U | 2 de 2 x 3 | | 14710,53 |
| | | | | |
| CONDUCCION: CANAL | | | | 6942836,96 |
| Replanteo, desbroce y limpieza | ha | 162,40 | 3422,64 | 555836,15 |
| Excavación sin clasificar - Plataforma | m3 | 675874,00 | 2,95 | 1992112,90 |
| Excavación en roca – Plataforma | m3 | 35554,00 | 10,90 | 387581,21 |
| Excavación sin clasificar – Cajón | m3 | 119828,00 | 4,58 | 548437,03 |
| Excavación en roca – Cajón | m3 | 21170,00 | 22,24 | 470839,51 |
| Hormigón de revestimiento para canal | m3 | 11078,00 | 182,41 | 2020743,89 |
| Drenaje canal | m | 5643,40 | 5,49 | 30961,34 |
| Sub-base para pavimento del camino | m3 | 4930,00 | 10,64 | 52444,59 |
| Rellenos con material clasificado para | m3 | 41528,00 | 14,93 | 620099,58 |

| | | | | |
|--|----|-------------|--------|------------|
| plataforma y terraplén | | | | |
| Excavación sin clasificar - Obras de Arte | m3 | 696,00 | 6,80 | 4731,30 |
| Hormigón para muros, vigas tablero de obras de arte | m3 | 661,20 | 214,26 | 141669,90 |
| Acero de refuerzo | kg | 75400,00 | 1,56 | 117379,56 |
| Obra en superficie - (Tapa de hormigón) | | | | 1475451,79 |
| Hormigón para muros, vigas tablero de obras de arte | m3 | 5653,84 | 214,26 | 1211401,95 |
| Acero de refuerzo | kg | 169615,20 | 1,56 | 264049,83 |
| Obra en subterráneo - (Túnel a flujo libre) | | | | 1432178,58 |
| Excavación en colusión | m3 | 300,67 | 4,58 | 1376,14 |
| Excavación en roca - (Subterráneo) | m3 | 5712,77 | 70,67 | 403721,31 |
| Hormigón estructural de cemento pórtland - (f'c=240 kg/cm2 - túnel) | m3 | 1492,34 | 213,99 | 319351,77 |
| Acero de refuerzo en barras - (fy= 4200 kg/cm2) – Subterráneo | kg | 44770,20 | 1,62 | 72527,72 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 5 cm - Subterráneo) | m2 | 1409,40 | 20,63 | 29074,51 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 10 cm - Subterráneo) | m2 | 1819,46 | 39,92 | 72634,66 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 15 cm - Subterráneo) | m2 | 368,88 | 54,20 | 19991,64 |
| Hormigón proyectado con fibra metálica (e= 20 cm - Subterráneo) | m2 | 730,80 | 68,68 | 50187,69 |
| Pernos de Anclaje (diam.=20 mm, incluye: perforación, inyección de mortero de cemento y elementos de fijación) | m | 2728,32 | 28,35 | 77347,87 |
| Marcos de acero para sostenimiento - (ASTM - A36) | kg | 114260,00 | 3,39 | 387341,40 |
| ALIVIADEROS TIPO | | | | 297422,09 |
| Excavación cajón: común | m3 | 5440,00 | 2,95 | 16048,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 1270,00 | 117,02 | 148609,74 |
| Acero de refuerzo | Kg | 63500,00 | 2,01 | 127615,66 |
| Compuertas | U | 1.40 x 1.40 | | 5148,68 |
| RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA | | | | 1289645,52 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 167000,00 | 2,95 | 492650,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 46000,00 | 4,51 | 207619,00 |
| Sub-base de material drenaje | m3 | 4600,00 | 6,22 | 28605,29 |
| Tubería de drenaje | ml | 2300,00 | 3,34 | 7689,59 |
| Hormigón de muros | m3 | 900,00 | 117,02 | 105313,99 |
| Acero de refuerzo | m3 | 3250,00 | 115,34 | 374867,65 |
| Acero estructural | Kg | 45000,00 | 1,62 | 72900,00 |
| Compuertas | U | | | |
| TANQUE DE CARGA | | | | 195491,26 |
| Excavación cajón: común | m3 | 2000,00 | 4,54 | 9080,00 |
| Hormigón de muros | m3 | 730,00 | 178,00 | 129940,00 |

| | | | | |
|--|----|------------|----------|------------|
| Acero de refuerzo | Kg | 29200,00 | 1,56 | 45552,00 |
| Acero estructural | Kg | 2200,00 | 1,62 | 3564,00 |
| Tubería blindada | U | 1 de 2 x 2 | | 7355,26 |
| TUBERIA DE PRESION | | | | 1146565,58 |
| Replanteo, desbroce y limpieza | ha | 1,68 | 3422,64 | 5750,03 |
| Excavación sin clasificar - Tubería de presión | m3 | 39424,00 | 6,80 | 267998,19 |
| Relleno simple | m3 | 6160,00 | 1,58 | 9760,45 |
| Hormigón para bloques de apoyo | m3 | 6736,80 | 128,11 | 863056,91 |
| CASA DE MAQUINAS | | | | 216410,26 |
| Excavación de plataforma: común | m3 | 1600,00 | 2,95 | 4720,00 |
| Excavación de plataforma: roca | m3 | 1600,00 | 14,46 | 23136,00 |
| Excavación cajón: común | m3 | 500,00 | 8,16 | 4081,80 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 500,00 | 70,67 | 35335,00 |
| Hormigón en masa | m3 | 610,00 | | 71379,48 |
| Hormigón estructural | m3 | 130,00 | | 23469,97 |
| Acero de refuerzo | Kg | 34800,00 | 1,56 | 54288,00 |
| CANAL DE RESTITUCIÓN | | | | 66423,56 |
| Excavación cajón: común | m3 | 405,00 | 21,68 | 8781,55 |
| Excavación cajón: roca | m3 | 405,00 | 70,67 | 28621,35 |
| Hormigón de revestimiento | m3 | 220,00 | | 25375,66 |
| Acero estructural | Kg | 2250,00 | 1,62 | 3645,00 |
| CAMINOS DE ACCESO | | | | 101722,50 |
| Camino de acceso - (Toma del Chanchan) | km | 0,90 | 78248,08 | 70423,27 |
| Camino de acceso - (Reservorio) | km | 0,16 | 97810,10 | 15649,62 |
| Camino de acceso - (Casa de Máquinas) | km | 0,20 | 78248,08 | 15649,62 |
| Mejoramiento de caminos existentes | km | 0,00 | 42614,79 | 0,00 |

Fuente: Investigación Propia

Los cuadros con todos los detalles y todos los rublos considerados de este presupuesto se presentan en el ANEXO 3.

3.4.-Obras Mecánicas.

Para las obras electromecánicas y mecánicas se trabajó con los precios que tienen la tesis de grado “Aprovechamiento del Río Pita en la Provincia de Bolívar para la construcción de una central (Proyecto

Caluma Bajo)”, ya que este proyecto tiene la misma características de construcción, y de esa manera se obtienen los datos que se muestran en la tabla X.

TABLA X

| COSTO DE EQUIPOS ELECTROMECHANICOS Y MECANICOS | |
|---|-------------|
| Turbinas | 1570137,255 |
| Reguladores | 55453,69222 |
| Válvulas de admisión | 55453,69222 |
| punte grúa | 45926,49701 |
| sistemas de ventilación y aire | 50021,67304 |
| sistema de tratamiento de agua, tuberías y accesorios | 55580,02564 |
| Compuertas | 112258,2293 |

Fuente: Investigación Propia

3.5.-Obras Eléctricas.

Para las obras Eléctricas se trabajo con los precios que tienen la tesis de grado “Aprovechamiento del Río Pita en la Provincia de Bolívar para la construcción de una central (Proyecto Caluma Bajo)”, ya que este proyecto tiene la misma características de construcción, en lo que se refiere a potencia de las maquinas, y de esa manera se obtienen los datos la tabla XI.

TABLA XI

| COSTOS DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS | |
|----------------------------------|------------|
| Generadores | 1744596,95 |
| Barras de generadores | 8478,98 |
| Cubiculo 4,16KV | 276161,37 |
| Transformadores principales | 115399,38 |
| Tranformadores serv. Auxiliar | 9684,08 |
| Tableros control / proteccion | 361134,13 |
| Tableros C alterna y continua | 25491,99 |
| Cables | 100299,83 |
| Equipos contra incendios | 4711,89 |
| Alumbrado | 45726,02 |
| Obrad de toma | 30064,81 |
| Disyuntor | 358877,95 |
| Seccionadores | 131588,83 |
| Trampa de onda | 74433,62 |
| Pararrayos | 54496,49 |
| Transformadores reductores | 162864,47 |
| Barras y aisladores | 47798,59 |
| Malla de tierra y ductos | 21743,35 |
| Servicios Auxiliares | 321440,14 |
| Estructuras metalicas | 105131,69 |

Fuente: Investigación Propia

3.6.-Interconexión con el SNI.

Según datos del ex INECEL podemos determinar que existen líneas de transmisión ubicadas a 20 Km. del lugar donde se ubicaran las casa de maquinas en ambos proyectos, y mediante los estudios de ex INECEL podemos determinar el costo que presentara estas líneas.

TABLA XIII**Presupuesto referencial de construcción del proyecto Chanchan Bajo**

PROYECTO : HIDROELECTRICO
 CHANCHAN
 FECHA : Enero de 1982 Enero de 2006
 CONTIENE : PRESUPUESTO REFERENCIAL - (Actualizado a Enero / 2006)

| RESUMEN GENERAL : | SUBTOTAL USD/Americanos | % |
|--|----------------------------|---------|
| OBRA CIVIL | \$14,645,857.52 | 69.88% |
| Bocatoma Chanchan (CH2) | \$605,901.16 | 2.89% |
| Desarenador | \$806,723.13 | 3.85% |
| Conducción | \$9,850,467.33 | 47.00% |
| Aliviaderos | \$297,422.09 | 1.42% |
| Paso de aguas | \$132,466.08 | 0.63% |
| Reservorio | \$1,289,645.52 | 6.15% |
| Tanque de carga | \$195,491.26 | 0.93% |
| Tubería de Presión | \$1,146,565.58 | 5.47% |
| Casa de Máquinas | \$216,410.26 | 1.03% |
| Canal de Restitución | \$66,423.56 | 0.32% |
| K. ACCESOS | \$38,341.56 | 0.18% |
| EQUIPOS | \$6,314,152.31 | 30.12% |
| Equipos Eléctricos | \$3,561,855.56 | 16.99% |
| Equipos Electromecánicos y Mecánicos | \$1,552,296.75 | 7.41% |
| Líneas de Transmisión | \$1,200,000.00 | 5.73% |
| COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION = | \$20,960,009.84 | 100.00% |
| Ingeniería y Administración (10%) = | \$2,096,000.98 | |
| Imprevistos (8%) = | \$1,676,800.79 | |
| COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION = | \$24,732,811.61 | |
| INVERSION TOTAL DEL PROYECTO = | \$24,732,811.61 | |

Fuente: Investigación Propia

CAPITULO IV

Producciones Energéticas

Introducción

Basados en el historial de niveles desde 1991 – 2005 de la estación DJ – HUATAXI, fue posible la determinación de los caudales en ese período de años para el punto de captación del esquema del Río. Gracias a la serie de caudales diarios determinada en el estudio hidrológico de la presente tesis, fue posible la elaboración de la serie de caudales promedios mensuales del mismo periodo de tiempo, los mismos que sirvieron como estadística para la elaboración de la serie sintética en la determinación de la producción de energía para los próximos 100 años. El estudio de las producciones energéticas es fundamental para la determinación de los beneficios que ingresarán al proyecto durante su período de vida, y así mediante el estudio económico respectivo concluir si es factible o no el desarrollo del proyecto.

Para la elaboración de la serie sintética se utilizó la herramienta PFIRM que es un software que utiliza modelos estocásticos para la elaboración de estas series. Mediante la simulación es posible

determinar la generación mensual, caudales turbinados, operación de embalse, excedencias, producción firme, etc.

4.1 Metodología de Cálculo

Para la utilización del software en la simulación de las producciones energéticas del esquema Chanchan, es necesario plantear las características principales del proyecto, la hidrología correspondiente en el punto de captación y otros parámetros como niveles de embalse y restitución. A continuación se plantea paso a paso el procedimiento para la introducción de los datos en el PFIRM y la descripción de cada uno de los requerimientos del simulador:

4.1.1.-Datos Generales para la Operación del Sistema.

Los criterios en la operación del sistema son los que constan en la Figura P1. Como se puede observar se consideró el 97% de garantía anual y mensual tanto para la energía y capacidad firme. Este criterio fue tomado en base de que usualmente se utiliza el 90% de garantía para estos parámetros siendo así el 97% una mayor seguridad.

Se consideró también el 0% para máximo déficit y error admisible debido a que no se considera déficit de energía o capacidad firme para

un año o mes fallido. Finalmente el número de horas diarias que la planta puede trabajar en capacidad máxima es de 4 horas considerado bajo las condiciones del pequeño embalse de regulación diaria.

Figura P1

PFIRM: DATOS GENERALES P. CHANCHAN

| PFIRM - General Data for System Operation | |
|--|------|
| Operation Criteria | |
| Guarantee for Annual Firm Peak Capacity (%): | 97,0 |
| Guarantee for Annual Firm Energy (%): | 97,0 |
| Guarantee for Monthly Firm Peak Capacity (%): | 97,0 |
| Guarantee for Monthly Firm Energy (%): | 97,0 |
| Maximum Admissible Deficit (% of Mean Inflow): | 0,0 |
| Maximum Admissible Error (% of Mean Inflow): | 0,0 |
| Average Working-Day Peak Period (hours): | 4,0 |

Buttons: Help, Print, Clear, Cancel, <<, >>, OK

Fuente: Simulador PFIRM

4.2 DATOS DE DISEÑOS DE LOS PROYECTOS

Se realiza el estudio de cada una de las alternativas, para hallar sus producciones energéticas, para poder evaluarlas individualmente.

4.2.1 Datos de Diseño de chanchan alto

La alternativa que se estudia considerado como una central de pasada con pequeño reservorio de regulación diaria con capacidad instalada de 12.29 MW, altura neta de 300 m y caudal de diseño de 4.54 m³/seg. También se consideró los valores de eficiencia de la turbina y del

generador en 92 y 98% respectivamente, máxima elevación del reservorio de 1800 m y mínima de 1800 m, manteniendo igual la elevación de dicho reservorio y Finalmente se asumió un 3% como factor de salida forzado.

Todos los valores de diseño fueron asumidos en base a otras simulaciones. En la Figura P2 podemos observar la ventana del PFIRM en donde se ingresan los datos del diseño de planta.

Figura P2

PFIRM: DATOS DE PLANTA CH. ALTO

| Design Data | | Excluded From Calculations <input type="checkbox"/> | |
|---------------------------------|------------------------|---|----------|
| Type: | Run-of-the-River Plant | Turbine Efficiency (%): | 92,00 |
| | Reservoir Plant | Generator Efficiency (%): | 98,00 |
| | Regulation Reservoir | Forced Outage Factor (%): | 3,00 |
| Design Capacity (MW): | 12,29 | Max Reservoir Elevation (m): | 1.800,00 |
| Design Head (m): | 300,00 | Min Reservoir Elevation (m): | 1.800,00 |
| Design Discharge (m3/s): | 4,54 | | |
| Name of the Facility: chanchan1 | | 14 | |

Buttons: Help, Print, Clear, Cancel, <<, >>, OK

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.2 Datos del Reservorio y Coeficiente Energético.

Debido a que este proyecto es considerado como una central de pasada, no se aplica la curva de elevación del reservorio. Para la curva de elevación de la restitución se asume que el nivel del mismo es el de la cota mínima, que es 1500 m con al máximo caudal, que es el q de diseño, a partir de ese valor en forma aleatoria se disminuye la elevación y su respectivo caudal.

Para las pérdidas hidráulicas se uso la ecuación 3, la cual analiza las pérdidas con respecto al caudal, y a partir de esto se realizo los cálculos que se presentan en el Pfirm.

$$P = KQ * (Hb - Kp * Q^2)$$

$$PERDIDAS = Kp * Q^2 \quad \text{ECUACION 3}$$

$$Kp = 0.026882167$$

Considerando que los reservorios promedio de estas centrales medianas, tienen capacidad de abastecimiento de aproximadamente 4 horas, se analiza que el reservorio de Energía diaria es de 51,80 MWh.

Todos estos datos fueron colocados en la ventana de Pfirm mostrada en la figura P3.

Figura P3

PFIRM: DATOS DE RESERVORIO CH. ALTO

Firm Energy Model - Reservoir Data

| Reservoir Elevation Curve | | | Tailwater Elevation Curve | | Hydraulic Losses | | |
|---------------------------|---------------|--------------|---------------------------|---------------|------------------|------------|------------------|
| | Elevation (m) | Volume (Hm3) | Area (Km2) | Elevation (m) | Inflow (m3/s) | Losses (m) | Discharge (m3/s) |
| Point 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Point 1 | 1.500,00 | 0,55 | 4,54 |
| Point 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Point 2 | 1.499,00 | 0,34 | 3,57 |
| Point 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Point 3 | 1.498,00 | 0,14 | 2,34 |
| Point 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Point 4 | 1.497,00 | 0,09 | 1,80 |

Volume (Million m3):

Area (Km2):

Tailwater Elevation (m)
 $E = 1,48429E+03 + 1,28140E+01*Q - 3,94233E+00*Q^2 + 4,14546E-01*Q^3$

Hydraulic Losses (m)
 $L = 1,72558E-01 - 1,75517E-01*Q + 8,19193E-02*Q^2 - 5,49497E-03*Q^3$

Run-of-the-River Plants

Site Name: 14

Daily/Weekly Storage (MWh)

Maximum Discharge (m3/s)

Buttons: Help, Print, Clear, Cancel, <<, >>, OK

Estimate Function

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.3 Datos de Simulación de la Operación.

En la ventana de simulación de la operación es necesario ingresar los datos de descarga mínima y máxima en la sección Planta, para este caso se consideró un caudal mínimo de 0 m³/seg. y un máximo de 4.54 m³/seg., de esta manera se proporciona un rango aceptable entre lo mínimo posible y lo máximo obtenido del diseño como límites en la simulación. Se asumió un porcentaje de paro planificado del 10% en el mes de Junio, que es la salida de fuera de servicio que se acostumbra tener en estas centrales.

En la Figura P4 se puede apreciar los datos ingresados de esta sección.

Figura P4

PFIRM: DATOS DE OPERACIÓN CH. ALTO

PFIRM - Operating Simulation Data

| | Plant | | | Reservoir | | | |
|-----------|--------------|--------------|--------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| | Q Min (m3/s) | Q Max (m3/s) | Planned Outage (%) | Min Elev. (m) | Max Elev. (m) | Evaporation (mm) | QFirm Distr. (%) |
| January | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| February | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| March | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| April | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| May | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| June | 0,00 | 4,54 | 4,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| July | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| August | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| September | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| October | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| November | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| December | 0,00 | 4,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Site Name: 14

QFirm Distribution

Help Print Clear Cancel << >> OK

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.4 Datos de Caudales Naturales y cálculo del Caudal Ecológico.

En la Figura P5 se puede observar los datos de los caudales mensuales ingresados en el PFIRM. Para el efecto fue necesario retomar la serie de caudales promedio mensuales de la estación DJ- Huataxi obtenida en el estudio hidrológico de la presente tesis. A cada uno de los valores mensuales de caudales se le restó lo correspondiente al caudal ecológico el cual fue estimado como el 10% del caudal promedio multianual, a continuación el cálculo:

$$\text{Caudal}_{\text{promedio}_{\text{multianual}}} = 4.54 \text{m}^3 / \text{seg}$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.01 * \text{Caudal}_{\text{promedio}_{\text{multianual}}}$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.01 * 4.54$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.454 \text{m}^3 / \text{seg}$$

El Caudal Ecológico es el caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido (caudal mínimo aconsejable) y puede ser considerado como el 10% del caudal medio anual. En la Figura P5 podemos tener una perspectiva visual de los datos en la ventana de caudales naturales del simulador.

Figura P5

Serie de Caudales Promedio Actualizado del Aprovechamiento Ch. Alto menos el

Caudal Ecológico (0.45 m3/seg)

| PFIRM: Natural Inflow Data (m3/s) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Years | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Average |
| 1991 | 0,00 | 18,88 | 26,96 | 15,90 | 15,71 | 9,59 | 18,38 | 12,19 | 22,56 | 9,99 | 8,34 | 24,50 | 15,23 |
| 1992 | 2,59 | 3,36 | 4,34 | 7,61 | 5,41 | 4,30 | 3,24 | 3,03 | 2,61 | 2,57 | 2,70 | 2,37 | 3,67 |
| 1993 | 4,05 | 6,82 | 8,96 | 9,89 | 5,34 | 2,28 | 3,50 | 1,07 | 1,24 | 1,55 | 1,93 | 1,99 | 4,03 |
| 1994 | 3,38 | 5,39 | 7,21 | 9,86 | 7,19 | 5,00 | 3,73 | 4,15 | 2,09 | 1,51 | 2,97 | 3,67 | 4,67 |
| 1995 | 2,32 | 2,84 | 2,92 | 5,43 | 3,70 | 1,71 | 1,55 | 0,45 | 0,18 | 0,17 | 2,29 | 1,11 | 2,05 |
| 1996 | 2,95 | 6,37 | 9,04 | 6,62 | 4,78 | 1,67 | 3,72 | 4,16 | 2,65 | 3,90 | 2,44 | 2,90 | 4,26 |
| 1997 | 4,07 | 5,38 | 6,25 | 4,90 | 5,22 | 2,60 | 3,77 | 1,68 | 2,18 | 2,07 | 8,17 | 3,77 | 4,16 |
| 1998 | 4,07 | 5,38 | 6,25 | 4,90 | 5,22 | 2,60 | 3,77 | 1,68 | 2,18 | 2,07 | 8,17 | 3,77 | 4,16 |
| 1999 | 5,46 | 10,63 | 16,65 | 15,94 | 16,49 | 5,89 | 3,57 | 5,10 | 4,15 | 4,73 | 2,44 | 5,91 | 8,07 |
| 2000 | 5,81 | 8,87 | 12,91 | 10,11 | 11,27 | 7,60 | 4,81 | 3,09 | 3,85 | 1,34 | 0,64 | 2,83 | 6,08 |
| 2001 | 6,44 | 8,48 | 13,64 | 9,73 | 0,00 | 4,57 | 3,02 | 4,16 | 6,05 | 2,13 | 1,68 | 6,49 | 5,51 |
| 2002 | 26,27 | 19,60 | 13,71 | 8,55 | 5,23 | 3,67 | 3,63 | 11,07 | 10,50 | 7,49 | 15,65 | 12,29 | 11,43 |
| 2003 | 4,55 | 3,15 | 2,60 | 3,71 | 2,09 | 2,82 | 5,89 | 7,94 | 0,00 | 17,49 | 5,26 | 1,91 | 4,82 |
| 2004 | 4,19 | 15,36 | 21,35 | 17,10 | 14,32 | 10,89 | 7,50 | 5,04 | 3,16 | 3,24 | 4,85 | 8,10 | 9,55 |
| 2005 | 4,79 | 6,37 | 17,66 | 6,13 | 3,12 | 2,11 | 1,37 | 0,80 | 0,59 | 0,81 | 0,53 | 1,67 | 3,82 |
| Average | 5,78 | 8,46 | 11,36 | 9,09 | 7,51 | 4,49 | 4,76 | 4,37 | 4,57 | 4,07 | 4,54 | 5,55 | 6,20 |

Fuente: Simulador PFIRM, INHAMI

4.2.5 Datos de Diseño de chanchan bajo

El proyecto que se estudia considerado como una central de pasada con pequeño reservorio de regulación diaria con capacidad instalada de 8.36 MW, altura neta de 200 m y caudal de diseño de 4.98 m³/seg. También se consideró los valores de eficiencia de la turbina y del generador en 92 y 98% respectivamente, máxima elevación del reservorio de 1200 m y mínima de 1200 m, manteniendo igual la elevación de dicho reservorio y Finalmente se asumió un 3% como factor de salida forzado.

Todos los valores de diseño fueron asumidos en base a otras simulaciones. En la Figura P6 podemos observar la ventana del PFIRM en donde se ingresan los datos del diseño de planta.

Figura P6

PFIRM: DATOS DE PLANTA CH. BAJO

| Firm Energy Model - Plant Data | |
|---|---|
| Design Data | |
| Type: | Run-of-the-River Plant Reservoir Plant Regulation Reservoir |
| Design Capacity (MW): | 8.36 |
| Design Head (m): | 200.00 |
| Design Discharge (m3/s): | 4.98 |
| Turbine Efficiency (%): | 88.00 |
| Generator Efficiency (%): | 98.00 |
| Forced Outage Factor (%): | 3.00 |
| Max Reservoir Elevation (m): | 1.400.00 |
| Min Reservoir Elevation (m): | 1.400.00 |
| Name of the Facility: | chanchan2 |
| 6 | |
| <input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Print"/> <input type="button" value="Clear"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> <input type="button" value="OK"/> | |

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.6 Datos del Reservorio y Coeficiente Energético.

Debido a que este proyecto es considerado como una central de pasada, no se aplica la curva de elevación del reservorio. Para la curva de elevación de la restitución se asume que el nivel del mismo es el de la cota mínima, que es 1400 m con el máximo caudal, que es el q de diseño, a partir de ese valor en forma aleatoria se disminuye la elevación y su respectivo caudal.

Para las pérdidas hidráulicas se usó la ecuación 3 mostrada anteriormente, la cual analiza las pérdidas con respecto al caudal, y a partir de esto se realizó los cálculos que se presentan en el Pfirm.

$$P = KQ * (Hb - Kp * Q^2)$$

$$PERDIDAS = Kp * Q^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Kp = 0.026882167$$

Considerando que los reservorios promedio de estas centrales medianas, tienen capacidad de abastecimiento de aproximadamente 4 horas, se analiza que el reservorio de Energía diaria es de 33.44 MWh.

Todos estos datos fueron colocados en la ventana de Pfirm mostrada en la figura P7.

Figura P7

PFIRM: DATOS DE RESERVORIO CH. BAJO

Firm Energy Model - Reservoir Data

| Reservoir Elevation Curve | | | Tailwater Elevation Curve | | Hydraulic Losses | | |
|---------------------------|---------------|--------------|---------------------------|---------------|------------------|------------|------------------|
| | Elevation (m) | Volume (Hm3) | Area (Km2) | Elevation (m) | Inflow (m3/s) | Losses (m) | Discharge (m3/s) |
| Point 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.200.00 | 4.98 | 0.67 | 4.94 |
| Point 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.199.00 | 4.26 | 0.49 | 4.26 |
| Point 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.198.00 | 2.93 | 0.23 | 2.93 |
| Point 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.197.00 | 1.80 | 0.08 | 1.80 |

Volume (Million m3):

Area (Km2):

Tailwater Elevation (m)
 $E = 1.19254E+03 + 4.05763E+00*Q - 1.08549E+00*Q^2 + 1.14727E-01*Q^3$

Hydraulic Losses (m)
 $L = -8.83149E-02 + 8.44041E-02*Q - 6.13016E-05*Q^2 + 2.84400E-03*Q^3$

Run-of-the-River Plants

Site Name: 14

Daily/Weekly Storage (MWh)

Maximum Discharge (m3/s)

Buttons: Help, Print, Clear, Cancel, <<, >>, OK

Estimate Function

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.7 Datos de Simulación de la Operación.

En la ventana de simulación de la operación es necesario ingresar los datos de descarga mínima y máxima en la sección Planta, para este caso se consideró un caudal mínimo de $0.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un máximo de $4.98 \text{ m}^3/\text{seg}$, de esta manera se proporciona un rango aceptable entre lo mínimo posible y lo máximo obtenido del diseño como límites en la simulación. Se asumió un porcentaje de paro planificado del 10% en el mes de Junio, que es la salida de fuera de servicio que se acostumbra tener en estas centrales.

En la Figura P8 se puede apreciar los datos ingresados de esta sección.

Figura P8

PFIRM: DATOS DE OPERACIÓN CH. BAJO

| PFIRM - Operating Simulation Data | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------------|---------------|---------------|------------------|------------------|--|--|
| | Plant | | | Reservoir | | | | | |
| | Q Min (m3/s) | Q Max (m3/s) | Planned Outage (%) | Min Elev. (m) | Max Elev. (m) | Evaporation (mm) | QFirm Distr. (%) | | |
| January | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| February | 0.56 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| March | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| April | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| May | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| June | 0.50 | 4.98 | 4.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| July | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| August | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| September | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| October | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| November | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| December | 0.50 | 4.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |

Site Name: 6

QFirm Distribution

Help Print Clear Cancel << >> OK

Fuente: Simulador PFIRM

4.2.8 Datos de Caudales Naturales y cálculo del Caudal Ecológico.

En la Figura P9 se puede observar los datos de los caudales mensuales ingresados en el PFIRM. Para el efecto fue necesario retomar la serie de caudales promedio mensuales de la estación DJ- Huataxi obtenida en el estudio hidrológico de la presente tesis. A cada uno de los valores mensuales de caudales se le restó lo correspondiente al caudal ecológico el cual fue estimado como el 10% del caudal de diseño.

$$\text{Caudal}_{\text{promedio}_{\text{multianual}}} = 4.98 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.01 * \text{Caudal}$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.01 * 4.98$$

$$\text{Caudal}_{\text{ecológico}} = 0.498 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

El Caudal Ecológico es el caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido (caudal mínimo aconsejable) y puede ser considerado como el 10% del caudal de diseño. En la Figura P9 podemos tener una perspectiva visual de los datos en la ventana de caudales naturales del simulador.

FIGURA P9

Serie de Caudales Promedio Actualizado del Aprovechamiento Ch. Bajo menos el Caudal Ecológico (0.498 m3/seg.)

| PFIRM: Natural Inflow Data (m3/s) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Years | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Average |
| 1991 | 0,00 | 20,71 | 29,58 | 17,45 | 17,23 | 10,52 | 20,17 | 13,37 | 24,75 | 10,96 | 9,14 | 26,88 | 16,71 |
| 1992 | 2,84 | 3,68 | 4,76 | 8,34 | 5,93 | 4,72 | 3,55 | 3,33 | 2,86 | 2,82 | 2,96 | 2,60 | 4,03 |
| 1993 | 4,44 | 7,48 | 9,83 | 10,85 | 5,86 | 2,49 | 3,94 | 1,16 | 1,36 | 1,69 | 2,11 | 2,18 | 4,42 |
| 1994 | 3,71 | 5,92 | 7,90 | 10,81 | 7,88 | 5,48 | 4,09 | 4,55 | 2,29 | 1,65 | 3,25 | 4,02 | 5,12 |
| 1995 | 2,54 | 3,12 | 3,20 | 5,95 | 4,05 | 1,88 | 1,70 | 0,49 | 0,19 | 0,18 | 2,51 | 1,21 | 2,24 |
| 1996 | 3,24 | 6,98 | 9,92 | 7,26 | 5,25 | 1,83 | 4,08 | 4,56 | 2,91 | 4,27 | 2,68 | 3,18 | 4,67 |
| 1997 | 4,47 | 5,90 | 6,85 | 5,37 | 5,73 | 2,85 | 4,13 | 1,84 | 2,39 | 2,26 | 8,96 | 4,13 | 4,56 |
| 1998 | 4,47 | 5,90 | 6,85 | 5,37 | 5,73 | 2,85 | 4,13 | 1,84 | 2,39 | 2,26 | 8,96 | 4,13 | 4,56 |
| 1999 | 5,99 | 11,66 | 18,26 | 17,49 | 18,10 | 6,46 | 3,92 | 5,59 | 4,54 | 5,19 | 2,67 | 6,48 | 8,85 |
| 2000 | 6,37 | 9,73 | 14,17 | 11,09 | 12,36 | 8,34 | 5,28 | 3,38 | 4,22 | 1,46 | 0,70 | 3,10 | 6,66 |
| 2001 | 7,06 | 9,30 | 14,96 | 10,68 | 0,00 | 5,01 | 3,31 | 4,56 | 6,63 | 2,33 | 1,84 | 7,12 | 6,04 |
| 2002 | 28,82 | 21,50 | 15,04 | 9,38 | 5,73 | 4,02 | 3,98 | 12,14 | 11,52 | 8,21 | 17,17 | 13,48 | 12,53 |
| 2003 | 4,99 | 3,45 | 2,85 | 4,06 | 2,29 | 3,09 | 6,46 | 8,71 | 0,00 | 19,19 | 5,77 | 2,09 | 5,28 |
| 2004 | 4,59 | 16,85 | 23,42 | 18,76 | 15,71 | 11,94 | 8,22 | 5,52 | 3,46 | 3,55 | 5,32 | 8,88 | 10,47 |
| 2005 | 5,25 | 6,98 | 19,37 | 6,72 | 3,41 | 2,31 | 1,49 | 0,88 | 0,64 | 0,89 | 0,58 | 1,83 | 4,19 |
| Average | 6,34 | 9,28 | 12,46 | 9,97 | 8,23 | 4,92 | 5,22 | 4,79 | 5,01 | 4,46 | 4,97 | 6,09 | 6,80 |

Fuente: Simulador PFIRM, INHAMI

4.3 Resultados de la Simulación Chanchan alto

En la tabla XIV se presenta el resumen de los resultados principales de la simulación con respecto a los caudales del proyecto Chanchan Alto, este resumen consta de promedios mensuales para 100 años de operación de la central los cuales nos proporcionan una perspectiva general de la cantidad de caudal con la que podremos contar en determinados meses del año.

Con dichos datos se realizarán los análisis pertinentes que se mostrarán en los puntos que se presenten a continuación.

TABLA XIV

**Resumen de los Resultados de la Generación de la Serie Sintética del PFIRM
para el proyecto Río Chanchan Alto Valores promedio para 100 años de
Simulación**

| DATOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGOS | SEP | OCT | NOV | DIC | PROM |
|------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q promedio generada para 100 años | 5,01 | 8,36 | 11,54 | 8,79 | 7,3 | 4,56 | 4,71 | 4,52 | 3,99 | 3,75 | 3,97 | 4,14 | 6,45 |
| Q promedio turbinado para 100 años | 2,88 | 3,8 | 4,05 | 4,18 | 3,89 | 3,39 | 3,25 | 3,08 | 2,58 | 2,64 | 2,85 | 2,55 | 3,44 |
| Q excedente | 2,13 | 4,56 | 7,49 | 4,61 | 3,41 | 1,17 | 1,46 | 1,44 | 1,41 | 1,11 | 1,12 | 1,59 | 3,01 |

Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

4.3.1 Caudales de la Serie Sintética Generada.

Los promedios la tabla XIV nos proporcionan índices en los cuales podemos observar que en el mes de Marzo se presenta el mayor caudal con $11.54 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el mínimo en el mes de Octubre con $3.75 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Entre los meses de Enero y Mayo se presenta la hidrología con mayores caudales mientras que los meses de Junio y Diciembre la hidrología es considerada como seca. El promedio de los caudales es de $6.45 \text{ m}^3/\text{seg}$ el cual supera al $4,54 \text{ m}^3/\text{seg}$ del caudal de diseño.

4.3.2 Caudal Turbinado.

El caudal turbinado posee valores máximos entre los meses de Enero y Julio los cuales corresponden a los meses de mayores caudales de la serie sintética.

El valor máximo corresponde al mes de marzo con $4,05 \text{ m}^3/\text{seg}$. y el mínimo al mes de Diciembre con $2.55 \text{ m}^3/\text{seg}$. Se podría decir que mensualmente es turbinado $3.44 \text{ m}^3/\text{seg}$.

4.3.3 Caudal Excedente.

Los meses de mayor excedencia están entre Febrero y Mayo con una excedencia máxima en el mes de Marzo ($7.49 \text{ m}^3/\text{seg}$) y una mínima en Octubre ($1.11 \text{ m}^3/\text{seg}$).

Los valores en la tabla XIV nos indican que la central aprovechará casi todo el caudal entre los meses de Junio y Enero pues la excedencia es mínima mientras que entre Febrero y Mayo existen gran cantidad de agua la cual es vertida.

Cabe recalcar que a estos valores de excedencia es necesario sumar $0.45 \text{ m}^3/\text{seg}$. del caudal ecológico lo cual además de proporcionar gran cantidad de agua vertida durante estos meses se proporciona también el caudal necesario para preservar el ecosistema acuático. Se puede decir que mensualmente se vierte un promedio de $3 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin considerar el caudal ecológico.

4.3.4 Capacidad máxima y relación con la Capacidad Instalada.

El aprovechamiento Chanchan según la simulación es capaz de proporcionar una capacidad máxima promedio en ciertos instantes en

un mes superior a la capacidad garantizada (7,45 MW); esto es posible aproximadamente el 85% de probabilidades.

Además podemos concluir que tendremos una capacidad mensual de 11 MW con una probabilidad del 75%, por lo que el tener 12MW en nuestro diseño, aunque esta sobredimensionado es el correcto, pues no garantizara buen funcionamiento en un largo periodo, y con un 97% podemos tener 3 MW garantizados, como lo muestra la grafica 3.

Grafica 3

CURVA DE PROBABILIDADES DE POTENCIA P. CH. ALTO



Fuente: Simulador PFIRM

4.3.5 Generación Promedio Mensual.

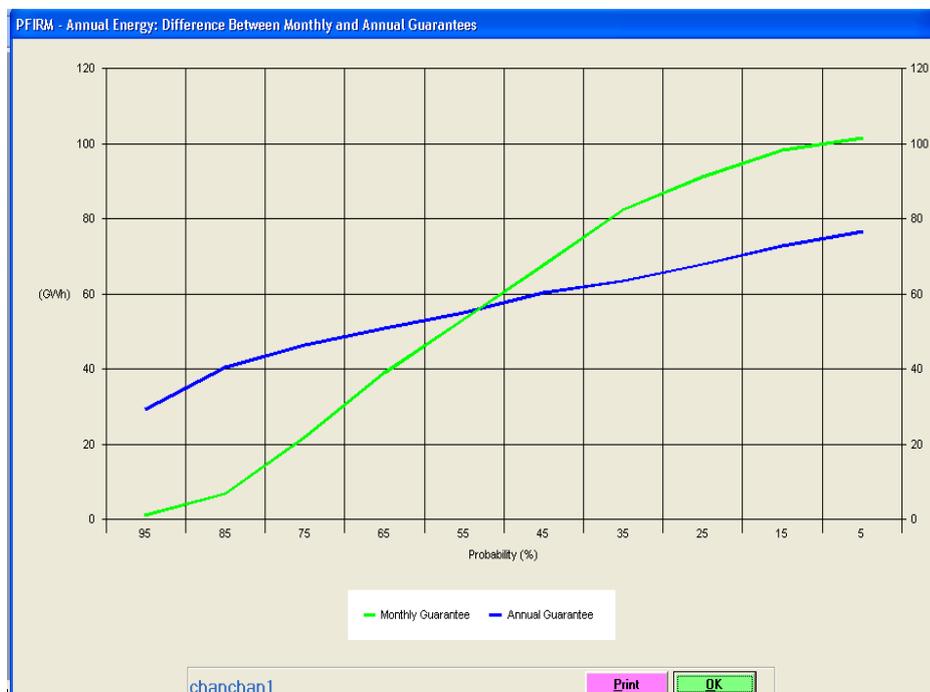
En esta sección se establece la cantidad de energía que la central puede generar en promedio por mes proporcionando así valores máximos entre los meses de Mayo y Agosto. La producción anual promedio es de 54.84 GWh presentando una máxima en el mes de Junio (5.85 GWh) y mínima en el mes de Marzo (2.75 GWh).

4.3.6 Curva de duración de energía y energía firme.

En la Gráfica 4 podemos observar la curva de duración de energía anual generada por el proyecto.

Bajo el nivel de seguridad propuesto del 97% en la curva podemos tener una energía firme de 26 GWh, y con 50% una energía anual de 56 GWh.

Gráfica 4

CURVA PROBABULIDAD DE ENERGIA P. CH. ALTO

Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

De la simulación también podemos concluir los resultados mostrados en la tabla XV donde presentaremos los datos de potencia a remunerar.

TABLA XV**Análisis de potencia a remunerar para el P. Chanchan Alto**

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGOS | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ENERGIA GWh | 4,31 | 3,86 | 2,75 | 4,7 | 5,34 | 5,85 | 5,43 | 5,34 | 4,04 | 4,55 | 4,77 | 3,91 | 54,84 |
| POTENCIA MW | 5,99 | 5,36 | 3,82 | 6,53 | 7,42 | 8,13 | 7,54 | 7,42 | 5,61 | 6,32 | 6,63 | 5,43 | 76,17 |

| | |
|---------------------------------------|------|
| POTENCIA PROMEDIO REMUNERABLE (MW) | 5,81 |
|---------------------------------------|------|

Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

4.4 Resultados de la Simulación Chanchan bajo

En la tabla XVI se presenta el resumen de los resultados principales de la simulación con respecto a los caudales del proyecto Chanchan Bajo, este resumen consta de promedios mensuales para 100 años de operación de la central los cuales nos proporcionan una perspectiva general de la cantidad de caudal con la que podremos contar en determinados meses del año.

Con dichos datos se realizarán los análisis pertinentes que se mostrarán en los puntos que se presenten a continuación.

TABLA XVI

**Resumen de los Resultados de la Generación de la Serie Sintética del PFIRM
para el proyecto Río Chanchan Bajo Valores promedio para 100 años de
Simulación**

| DATOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGOS | SEP | OCT | NOV | DIC | PROM |
|------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Q promedio generada para 100 años | 6,8 | 9,16 | 13,07 | 9,72 | 8,25 | 5,14 | 5,23 | 5,26 | 6,13 | 4,85 | 4,89 | 6,49 | 7,0825 |
| Q promedio turbinado para 100 años | 3,74 | 4,17 | 4,38 | 4,39 | 4,16 | 3,72 | 3,56 | 3,58 | 3,39 | 3,29 | 3,43 | 3,55 | 3,78 |
| Q excedente | 3,06 | 4,99 | 8,69 | 5,33 | 4,09 | 1,42 | 1,67 | 1,68 | 2,74 | 1,56 | 1,46 | 2,94 | 3,3025 |

Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

4.4.1 Caudales de la Serie Sintética Generada.

Los promedios la tabla XVI nos proporcionan índices en los cuales podemos observar que en el mes de Marzo se presenta el mayor caudal con $13.07 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el mínimo en el mes de Octubre con $4.85 \text{ m}^3/\text{seg}$. Entre los meses de Enero y Mayo se presenta la hidrología con mayores caudales mientras que los meses de Junio y Diciembre la hidrología es considerada como seca. El promedio de los caudales es de $7.08 \text{ m}^3/\text{seg}$. el cual supera al $4,98 \text{ m}^3/\text{seg}$. del caudal de diseño.

4.4.2 Caudal Turbinado.

El caudal turbinado posee valores máximos entre los meses de Enero y Mayo los cuales corresponden a los meses de mayores caudales de la serie sintética. El valor máximo corresponde al mes de Abril con $4,39 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el mínimo al mes de Octubre con $3.29 \text{ m}^3/\text{seg}$. Se podría decir que mensualmente es turbinado $3.78 \text{ m}^3/\text{seg}$.

4.4.3 Caudal Excedente.

Los meses de mayor excedencia están entre Febrero y Mayo con una excedencia máxima en el mes de Marzo ($8.69 \text{ m}^3/\text{seg}$) y una mínima en

Octubre ($1.46 \text{ m}^3/\text{seg}$). Los valores en la tabla XVI nos indican que la central aprovechará casi todo el caudal entre los meses de Junio y Enero pues la excedencia es mínima mientras que entre Febrero y Mayo existen gran cantidad de agua la cual es vertida.

Cabe recalcar que a estos valores de excedencia es necesario sumar $0.498 \text{ m}^3/\text{seg}$ del caudal ecológico lo cual además de proporcionar gran cantidad de agua vertida durante estos meses se proporciona también el caudal necesario para preservar el ecosistema acuático. Se puede decir que mensualmente se vierte un promedio de $3.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin considerar el caudal ecológico.

4.4.4 Capacidad máxima y relación con la Capacidad Instalada.

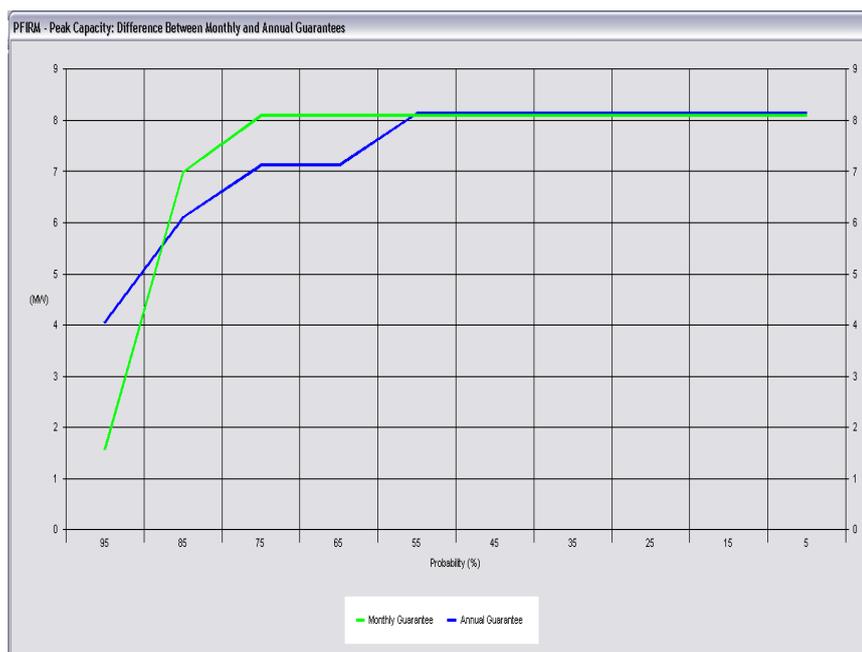
El aprovechamiento Chanchan Bajo según la simulación es capaz de proporcionar una capacidad máxima promedio en ciertos instantes en un mes superior a la capacidad garantizada ($4,3 \text{ MW}$); esto es posible aproximadamente el 80% de probabilidades.

Además podemos concluir que tendremos una capacidad mensual de 7 MW con una probabilidad del 85%, por lo que al tener 8.3 MW en nuestro diseño, este esta bien dimensionado puesto que además lo

cumpliremos en un 70% de periodo, y con un 95% podemos tener 4MW garantizados, como lo muestra la grafica 5.

Grafica 5

CURVA DE PROBABILIDADES DE POTENCIA P. CH. BAJO



Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

4.4.5 Generación Promedio Mensual.

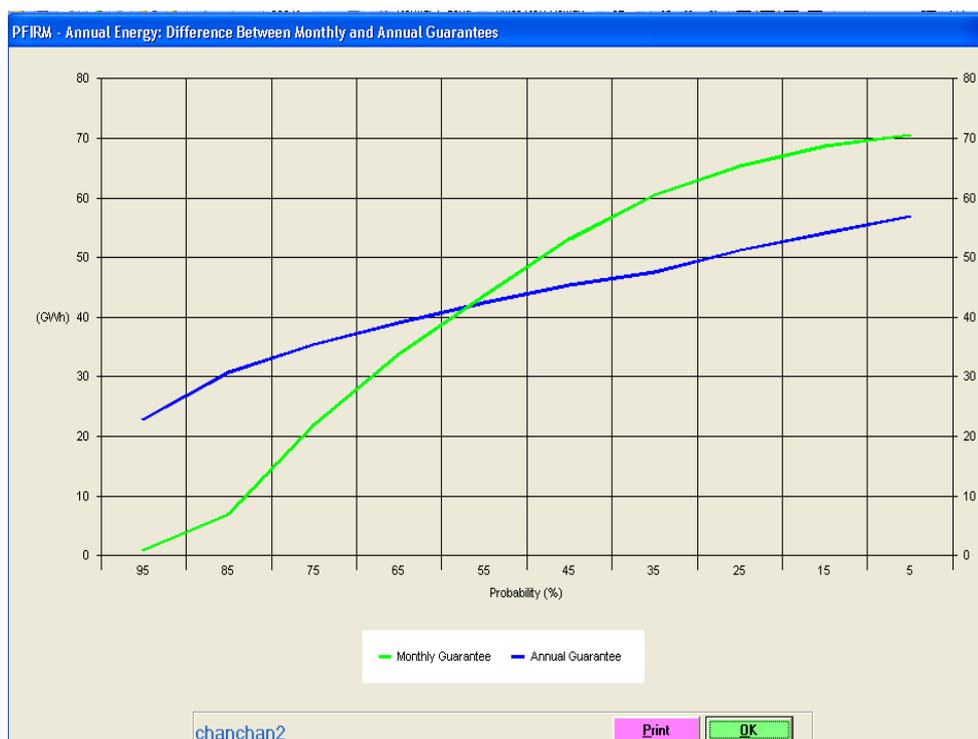
En esta sección se establece la cantidad de energía que la central puede generar en promedio por mes proporcionando así valores máximos entre los meses de Junio y Agosto. La producción anual promedio es de 42.56 GWh presentando una máxima en el mes de Junio (4.31 GWh) y mínima en el mes de Marzo (2.19 GWh)

4.4.6 Curva de duración de energía y energía firme.

En la Gráfica 6 podemos observar la curva de duración de energía anual generada por el proyecto. Bajo el nivel de seguridad propuesto del 97% en la curva podemos tener una energía firme de 20 GWh, y con 50% una energía anual de 46 GWh.

Gráfica 6

CURVA PROBABULIDAD DE ENERGIA P. CH. BAJO



Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

De lo que podemos concluir los resultados mostrados en la tabla XVII donde presentaremos los datos de potencia a remunerar.

TABLA XVII

Análisis de potencia a remunerar para el P. Chanchan Bajo

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGOS | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ENERGIA GWh | 3,56 | 2,98 | 2,19 | 3,35 | 3,65 | 4,31 | 4,1 | 4,13 | 3,09 | 3,75 | 3,9 | 3,54 | 54,84 |
| POTENCIA MW | 4,94 | 4,14 | 3,04 | 4,65 | 5,07 | 5,99 | 5,72 | 5,74 | 4,29 | 5,21 | 5,38 | 4,92 | 76,17 |

| | |
|--------------------------------|-------------|
| POTENCIA REMUNERABLE MW | 4,81 |
|--------------------------------|-------------|

Fuente: Simulador PFIRM, Investigación Propia

Para poder realizar una visualización más detallada de las proyecciones brindadas por el simulador PFirm, se presenta el grupo de ANEXOS 4, donde se encuentran todos los resultados de caudal, potencia y energía para cada proyecto, con los datos para los cien años que nos brinda el simulador.

CAPITULO V

Evaluación Económica De Los Proyectos

Para la respectiva evaluación económica de los proyectos se determinaron los ingresos correspondientes por producción de energía y potencia disponible de la central bajo la suposición de ventas en el mercado ocasional, los costos debido a operación y mantenimiento y la inversión necesaria para la construcción.

5.1 Determinación de la Remuneración por Ventas en el

Mercado Ocasional.

La remuneración por ventas en el mercado ocasional posee dos componentes: remuneración por energía y por potencia, para lo cual utilizaremos los datos brindados en la simulación de PFirm presentada en el capítulo IV.

Para la componente de potencia fue necesario tomar en cuenta ciertas producciones de energía para el cálculo correspondiente, las cuales se analizarán más adelante.

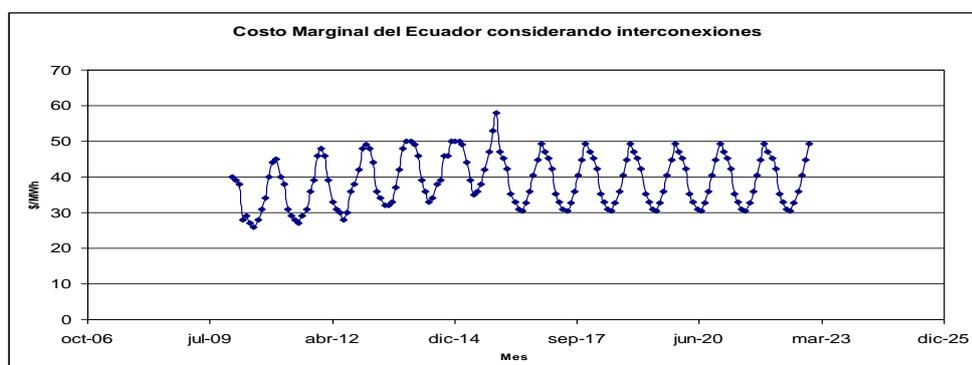
5.2 Remuneración por Energía entregada al MEM.

Criterios para la determinación de los costos marginales y factor de nodo.

El CENACE realiza esta remuneración cada hora determinando un costo marginal en ese tiempo. Para efecto de esta tesis se consideró ciertas proyecciones del costo marginal ponderado realizadas por el CENACE hasta el año 2020, estas proyecciones fueron determinadas bajo criterios estadísticos de posibles proyectos a construir, interconexiones con Colombia y Perú, crecimiento de la demanda, etc. Luego de la obtención de estos valores mensuales, fue necesaria la proyección de los mismos hasta el año 2060 de la vida útil del proyecto los cuales fueron determinados como promedios mensuales de los años anteriores al 2020. A continuación se presenta la Gráfica 7 que corresponde al costo marginal hasta el año 2022.

Gráfica 7

COSTOS MARGINALES DE ENERGIA



Fuente: Investigación Propia

5.3 Cálculo de la remuneración para Chanchan alto

Para calcular la remuneración de este proyecto se debe considerar los Ingresos producidos tanto por energía como por potencia.

5.3.1 Cálculo de la remuneración por energía para Chanchan alto

Para el cálculo de energía se considera el hecho de que mediante el análisis mostrado anteriormente, se logra determinar un valor de pago de 5,5 cts. \$/Kwh., lo que se considera que será su valor fijo por un promedio de diez años de vida del proyecto, hasta el año 2020, luego del cual se considera una reducción a 4 cts.\$/Kwh., para así simular el peor de los casos que se pudiera presentar. Los resultados del producto de la Energía producida anual por su respectivo costo se presentan en la tabla XVIII.

TABLA XVIII

Remuneración por Energía para los 50 años de vida del

Proyecto Chanchan Alto

| AÑOS | TOTAL(MILES DE \$) |
|------|--------------------|
| 1 | 3531000 |
| 2 | 2424400 |
| 3 | 4195950 |
| 4 | 4499000 |
| 5 | 3492500 |
| 6 | 1478400 |
| 7 | 3108600 |

| | |
|----|---------|
| 8 | 4200900 |
| 9 | 1620300 |
| 10 | 1843050 |
| 11 | 1388800 |
| 12 | 2505600 |
| 13 | 2056800 |
| 14 | 2540000 |
| 15 | 1770800 |
| 16 | 2949200 |
| 17 | 1714400 |
| 18 | 2635200 |
| 19 | 2183600 |
| 20 | 1875200 |
| 21 | 2286400 |
| 22 | 1503600 |
| 23 | 2906400 |
| 24 | 2661200 |
| 25 | 2755600 |
| 26 | 1444400 |
| 27 | 1847200 |
| 28 | 2177600 |
| 29 | 2164800 |
| 30 | 2468400 |
| 31 | 927200 |
| 32 | 2888000 |
| 33 | 2401200 |
| 34 | 1980400 |
| 35 | 2838000 |
| 36 | 2724800 |
| 37 | 2322000 |
| 38 | 2671200 |
| 39 | 2803200 |
| 40 | 1513600 |
| 41 | 2917600 |
| 42 | 1936400 |
| 43 | 2520400 |
| 44 | 1625200 |

| | |
|----|---------|
| 45 | 2711200 |
| 46 | 2581600 |
| 47 | 3025200 |
| 48 | 1176400 |
| 49 | 2879200 |
| 50 | 3077200 |

Fuente: Investigación Propia

5.3.2 Remuneración por Potencia.

Criterios para la remuneración por potencia.

El CENACE realiza la remuneración de la potencia basándose en el valor mínimo entre la PRPD (potencia remunerable puesta a disposición) y la PMPD (potencia media puesta a disposición). En la presente tesis se siguió el procedimiento para la determinación de la PRPD según la regulación del CENACE, para calcularlo se consideró la energía producida entre los meses de Noviembre a Febrero dividida para el número de horas totales de los cuatro meses, el valor de potencia resultante es la potencia remunerable puesta a disposición para el período de Octubre a Septiembre del año en cuestión.

Los resultados de este análisis se presentan en la columna de Potencia remunerable del ANEXO 5.1., dicho análisis se lo realizó con los datos de potencia obtenidas en el Capítulo de producciones energéticas.

Debido a que la remuneración se la realiza al valor mínimo de potencia entre la PRPD y la PMPD, pero al no contar con la disponibilidad de conocer en cual es el promedio de potencia en las horas de media y punta, se procede a considerar como potencia a remunerar la misma PRPD.

Actualmente la potencia es remunerada al precio de \$5.7/KW-mes y para el cálculo se multiplicó éste valor por el de la potencia a remunerar anual. Los valores obtenidos de este producto se presentan en la tabla XIX.

TABLA XIX

Remuneración por potencia para los 50 años de vida útil del proyecto

Chanchan Alto

| AÑOS | TOTAL(MILES DE \$) |
|------|--------------------|
| 1 | 573800 |
| 2 | 425600 |
| 3 | 381900 |
| 4 | 559550 |
| 5 | 497800 |
| 6 | 439850 |
| 7 | 583300 |
| 8 | 480700 |
| 9 | 181450 |
| 10 | 11400 |
| 11 | 218500 |
| 12 | 446500 |
| 13 | 328700 |
| 14 | 377150 |
| 15 | 263150 |

| | |
|----|--------|
| 16 | 590900 |
| 17 | 414200 |
| 18 | 457900 |
| 19 | 356250 |
| 20 | 558600 |
| 21 | 441750 |
| 22 | 510150 |
| 23 | 514900 |
| 24 | 650750 |
| 25 | 702050 |
| 26 | 389500 |
| 27 | 439850 |
| 28 | 199500 |
| 29 | 345800 |
| 30 | 739100 |
| 31 | 277400 |
| 32 | 601350 |
| 33 | 359100 |
| 34 | 266950 |
| 35 | 403750 |
| 36 | 447450 |
| 37 | 374300 |
| 38 | 529150 |
| 39 | 525350 |
| 40 | 253650 |
| 41 | 746700 |
| 42 | 374300 |
| 43 | 600400 |
| 44 | 377150 |
| 45 | 384750 |
| 46 | 465500 |
| 47 | 381900 |
| 48 | 538650 |
| 49 | 740050 |
| 50 | 324900 |

Fuente: Investigación Propia.

5.3.3 INGRESOS TOTALES

Finalmente en la tabla XX se encuentran los resultados de la remuneración total anual que correspondería a los ingresos para el esquema en cuestión. Este valor es el resultado de la suma de los ingresos por energía y por potencia correspondiente a los 50 años de vida del proyecto.

El análisis total de la remuneración por energía y potencia para el proyecto Chanchan alto se presentan en el ANEXO 5.1.

TABLA XX

Ingresos totales por concepto de venta de energía y potencia

Puesta a disposición para Chanchan Alto

| AÑOS | TOTAL(MILES DE \$) |
|------|--------------------|
| 1 | 4104,8 |
| 2 | 2850 |
| 3 | 4577,85 |
| 4 | 5058,55 |
| 5 | 3990,3 |
| 6 | 1918,25 |
| 7 | 3691,9 |
| 8 | 4681,6 |
| 9 | 1801,75 |
| 10 | 1854,45 |
| 11 | 1607,3 |
| 12 | 2952,1 |
| 13 | 2385,5 |
| 14 | 2917,15 |
| 15 | 2033,95 |

| | |
|----|---------|
| 16 | 3540,1 |
| 17 | 2128,6 |
| 18 | 3093,1 |
| 19 | 2539,85 |
| 20 | 2433,8 |
| 21 | 2728,15 |
| 22 | 2013,75 |
| 23 | 3421,3 |
| 24 | 3311,95 |
| 25 | 3457,65 |
| 26 | 1833,9 |
| 27 | 2287,05 |
| 28 | 2377,1 |
| 29 | 2510,6 |
| 30 | 3207,5 |
| 31 | 1204,6 |
| 32 | 3489,35 |
| 33 | 2760,3 |
| 34 | 2247,35 |
| 35 | 3241,75 |
| 36 | 3172,25 |
| 37 | 2696,3 |
| 38 | 3200,35 |
| 39 | 3328,55 |
| 40 | 1767,25 |
| 41 | 3664,3 |
| 42 | 2310,7 |
| 43 | 3120,8 |
| 44 | 2002,35 |
| 45 | 3095,95 |
| 46 | 3047,1 |
| 47 | 3407,1 |
| 48 | 1715,05 |
| 49 | 3619,25 |
| 50 | 3402,1 |

Fuente: Investigación Propia

5.3.4 Hipótesis de Cálculo

Una vez obtenidos los ingresos y el presupuesto para la construcción, se planteo el financiamiento respectivo para el proyecto así como la

vida útil, número de años de construcción y costos operativos y de mantenimiento.

Además se tomó en cuenta la obtención de un Certificado a la Reducción de Emisión de Carbono (CER) lo cual representa el financiamiento del 15% de la inversión total del proyecto, los cuales serán pedidos en adelanto durante la construcción del proyecto. .

Para el cálculo financiero se consideraron 3 créditos para cubrir el total de la inversión, el primero de un 50% de la inversión total y otro correspondiente al otro 50% y un tercero de un 20% de la inversión con el objetivo de tener un ingreso adicional los primeros años de construcción y operación para paliar cualquier eventualidad, todo con un interés de 8%, el detalle de estos créditos se muestra en el ANEXO 5.2.

Los tres años de gracias se los da con la finalidad de otorgar al inversionista un plazo para la construcción adecuada del proyecto, este plazo es desde el año 2008 al 2010. A partir del año 2011 entrará en operación la central y teniendo en consideración que la vida útil del proyecto es de 50 años se realizará el estudio.

Los costos variables de esta central son estimados en \$0.02/Kwh. el cual fue tomado como referencia para el esquema Caluma Bajo y usado en nuestro proyecto.

Se consideraron entre los gastos anuales en que se concurrirá, los de operación y mantenimiento, el cual se presenta en el ANEXO 5.3, y que parte del análisis de la energía multiplicada por un costo fijo, y también se toma en cuenta el rublo por pago de los seguros.

En la tabla XXI se observa un resumen de los parámetros para la evaluación.

TABLA XXI

Resumen de los Parámetros para la Evaluación

Económica para Chanchan Alto

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Costos O&M | \$ 0,02/Kwh. |
| Vida útil | 50 años |
| Años de construcción | 3 |
| Financiamiento | |
| # Créditos | 3 |
| Interés | 8% |
| Plazo | 13 años |
| Años de Gracia | 3 |

Fuente: Investigación Propia

5.3.5 Resultados TIR y VAN

Con los datos obtenidos previo a esta sección se realizó el análisis económico respectivo para la determinación de los índices económicos que ayudaron a interpretar si el proyecto es o no rentable.

En el ANEXO 5.4 se presentan los resultados de éste análisis para el proyecto Chanchan Alto, donde se consideran todos los ítems antes mencionados.

Los resultados indican un VAN de 0.29 millones y un van del 17% lo que demuestra que el proyecto es rentable bajo las consideraciones e hipótesis asumidas anteriormente, Los resultados así mencionados del análisis económico son:

$$\text{TIR} = 17 \%$$

$$\text{VAN} = 290 \text{ mil dólares}$$

5.4 CÁLCULO DE LA REMUNERACIÓN PARA CHANCHAN BAJO

Para calcular la remuneración de este proyecto al igual que el anterior se deben considerar los Ingresos producidos tanto por energía como por potencia.

5.4.1 Cálculo de la remuneración por energía para Chanchan Bajo

Para el cálculo de energía se considera el hecho de que mediante el análisis mostrado anteriormente, se logra determinar un promedio de pago de 5,5 cts. \$/Kwh., lo que se considera que será su valor fijo por un promedio de diez años de vida del proyecto, hasta el año 2020, luego del cual se considera una reducción a 4 cts. \$/Kwh., para así simular el peor de los casos que se pudiera presentar.

Los resultados del producto de la Energía producida anual por su respectivo costo se presentan en la tabla XXII.

TABLA XXII

Remuneración por Energía los 50 años de vida del proyecto

Chanchan Bajo

| AÑOS | INGRESO MILLONES DE \$ |
|------|------------------------------|
| 1 | 2780800 |
| 2 | 1696750 |
| 3 | 3034900 |
| 4 | 3189450 |
| 5 | 2641100 |
| 6 | 1037300 |
| 7 | 2522300 |
| 8 | 3054150 |
| 9 | 1224850 |

| | |
|----|---------|
| 10 | 1295250 |
| 11 | 1371200 |
| 12 | 1875200 |
| 13 | 1452800 |
| 14 | 1840400 |
| 15 | 1340400 |
| 16 | 2264400 |
| 17 | 1232000 |
| 18 | 1969600 |
| 19 | 1648400 |
| 20 | 1501200 |
| 21 | 1709200 |
| 22 | 1185200 |
| 23 | 2277200 |
| 24 | 1953600 |
| 25 | 1997600 |
| 26 | 1274800 |
| 27 | 1509200 |
| 28 | 1729200 |
| 29 | 1782800 |
| 30 | 1943200 |
| 31 | 646800 |
| 32 | 2287200 |
| 33 | 1827600 |
| 34 | 1460800 |
| 35 | 2040800 |
| 36 | 2152400 |
| 37 | 1753200 |
| 38 | 1997600 |
| 39 | 2154800 |
| 40 | 1280800 |
| 41 | 2262000 |
| 42 | 1413200 |
| 43 | 1872400 |
| 44 | 1144400 |
| 45 | 2112800 |

| | |
|----|---------|
| 46 | 1942400 |
| 47 | 2237200 |
| 48 | 861600 |
| 49 | 2129600 |
| 50 | 2244000 |

Fuente: Investigación Propia

5.4.2 Remuneración por Potencia.

Criterios para la remuneración por potencia.

El CENACE realiza la remuneración de la potencia basándose en el valor mínimo entre la PRPD (potencia remunerable puesta a disposición) y la PMPD (potencia media puesta a disposición). En la presente tesis se siguió el procedimiento para la determinación de la PRPD según la regulación del CENACE, para calcularlo se consideró la energía producida entre los meses de Noviembre a Febrero dividida para el número de horas totales de los cuatro meses, el valor de potencia resultante es la potencia remunerable puesta a disposición para el período de Octubre a Septiembre del año en cuestión.

Los resultados de este análisis se presentan en la columna de Potencia remunerable del ANEXO 5.5., dicho análisis se lo realizó con los

datos de potencia obtenidas en el Capitulo de producciones energéticas.

Debido a que la remuneración se la realiza al valor mínimo de potencia entre la PRPD y la PMPD, pero al no contar con la disponibilidad de conocer en cual es el promedio de potencia en las horas de media y punta, se procede a considerar como potencia a remunerar la misma PRPD.

Actualmente la potencia es remunerada al precio de \$5.7/KW-mes y para el cálculo se multiplicó éste valor por el de la potencia a remunerar anual. Los valores obtenidos de este producto se presentan en la tabla XXIII.

TABLA XXIII

Remuneración por potencia para los 50 años de vida útil del proyecto

Chanchan Bajo

| AÑOS | TOTAL MILLONES DE \$ |
|-------------|-------------------------------------|
| 1 | 403750 |
| 2 | 298300 |
| 3 | 282150 |
| 4 | 391400 |
| 5 | 351500 |
| 6 | 309700 |

| | |
|----|--------|
| 7 | 451250 |
| 8 | 368600 |
| 9 | 162450 |
| 10 | 7600 |
| 11 | 234650 |
| 12 | 367650 |
| 13 | 229900 |
| 14 | 274550 |
| 15 | 218500 |
| 16 | 445550 |
| 17 | 305900 |
| 18 | 346750 |
| 19 | 284050 |
| 20 | 400900 |
| 21 | 342000 |
| 22 | 427500 |
| 23 | 415150 |
| 24 | 458850 |
| 25 | 510150 |
| 26 | 274550 |
| 27 | 353400 |
| 28 | 223250 |
| 29 | 298300 |
| 30 | 526300 |
| 31 | 193800 |
| 32 | 469300 |
| 33 | 187150 |
| 34 | 187150 |
| 35 | 286900 |
| 36 | 367650 |
| 37 | 323950 |
| 38 | 433200 |
| 39 | 431300 |
| 40 | 266950 |
| 41 | 526300 |
| 42 | 284050 |
| 43 | 428450 |
| 44 | 267900 |
| 45 | 325850 |
| 46 | 348650 |
| 47 | 308750 |
| 48 | 385700 |
| 49 | 521550 |
| 50 | 267900 |

Fuente: Investigación Propia

5.4.3 INGRESOS TOTALES

Finalmente en la tabla XXIV se encuentran los resultados de la remuneración total anual que correspondería a los ingresos para el esquema en cuestión. Este valor es el resultado de la suma de los ingresos por energía y por potencia correspondiente a los 50 años de vida del proyecto.

El análisis total de la remuneración por energía y potencia para el proyecto Chanchan alto se presentan en el ANEXO 5.5.

TABLA XXIV

Ingresos totales por concepto de venta de energía y potencia puesta a disposición para Chanchan Bajo.

| AÑOS | TOTAL MILES DE (\$) |
|-------------|----------------------------|
| 1 | 3184,55 |
| 2 | 1995,05 |
| 3 | 3317,05 |
| 4 | 3580,85 |
| 5 | 2992,6 |
| 6 | 1347 |
| 7 | 2973,55 |
| 8 | 3422,75 |
| 9 | 1387,3 |
| 10 | 1302,85 |
| 11 | 1605,85 |
| 12 | 2242,85 |
| 13 | 1682,7 |
| 14 | 2114,95 |
| 15 | 1558,9 |

| | |
|----|---------|
| 16 | 2709,95 |
| 17 | 1537,9 |
| 18 | 2316,35 |
| 19 | 1932,45 |
| 20 | 1902,1 |
| 21 | 2051,2 |
| 22 | 1612,7 |
| 23 | 2692,35 |
| 24 | 2412,45 |
| 25 | 2507,75 |
| 26 | 1549,35 |
| 27 | 1862,6 |
| 28 | 1952,45 |
| 29 | 2081,1 |
| 30 | 2469,5 |
| 31 | 840,6 |
| 32 | 2756,5 |
| 33 | 2014,75 |
| 34 | 1647,95 |
| 35 | 2327,7 |
| 36 | 2520,05 |
| 37 | 2077,15 |
| 38 | 2430,8 |
| 39 | 2586,1 |
| 40 | 1547,75 |
| 41 | 2788,3 |
| 42 | 1697,25 |
| 43 | 2300,85 |
| 44 | 1412,3 |
| 45 | 2438,65 |
| 46 | 2291,05 |
| 47 | 2545,95 |
| 48 | 1247,3 |
| 49 | 2651,15 |
| 50 | 2511,9 |

Fuente: Investigación Propia

5.4.4 Hipótesis de Cálculo

Una vez obtenidos los ingresos y el presupuesto para la construcción, se planteo el financiamiento respectivo para el proyecto así como la vida útil, número de años de construcción y costos operativos y de mantenimiento.

Además se tomó en cuenta la obtención de un Certificado a la Reducción de Emisión de Carbono (CER) lo cual representa el financiamiento del 15% de la inversión total del proyecto, los cuales serán pedidos en adelanto durante la construcción del proyecto.

Para el cálculo financiero se consideraron 3 créditos al igual que en el proyecto chanchan alto, para cubrir el total de la inversión, el primero de un 50% de la inversión total y otro correspondiente al otro 50% y un tercero de un 30% de la inversión con el objetivo de tener un ingreso adicional los primeros años de construcción y operación para paliar cualquier eventualidad, todo con un interés de 8%, los detalles de este crédito se presentan en el ANEXO 5.6.

Los tres años de gracias se los da con la finalidad de otorgar al inversionista un plazo para la construcción adecuada del proyecto, este plazo es desde el año 2008 al 2010.

A partir del año 2010 entrará en operación la central y teniendo en consideración que la vida útil del proyecto es de 50 años se realizará el estudio.

Los costos variables de esta central son estimados en \$0.02/Kwh., el cual es el mismo usado para el proyecto Chanchan Alto y que fue tomado como referencia para el esquema Caluma Bajo.

Se consideraron entre los gastos anuales en que se concurrirá, los de operación y mantenimiento, el cual se presenta en el ANEXO 5.7, y que parte del análisis de la energía multiplicada por un costo fijo, y también se toma en cuenta el rublo por pago de los seguros

El análisis se lo realizó para una tasa de interés del 8 . En la tabla XXV se observa un resumen de los parámetros para la evaluación.

TABLA XXV

**Resumen de los Parámetros para la Evaluación
Económica para Chanchan Bajo.**

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Costos O&M | \$ 0,02/Kwh. |
| Vida útil | 50 años |
| Años de construcción | 3 |
| Financiamiento | |
| # Créditos | 3 |
| Interés | 8% |
| Plazo | 13 años |
| Años de Gracia | 3 |

Fuente: Investigación Propia

5.3.5 Resultados TIR y VAN CHANCHAN BAJO

Con los datos obtenidos previo a esta sección se realizó el análisis económico respectivo para la determinación de los índices económicos que ayudaron a interpretar si el proyecto es o no rentable.

En el ANEXO 5.8 se presentan los resultados de éste análisis para el proyecto Chanchan Alto, donde se consideran todos los ítems antes mencionados.

Los resultados indican un VAN de 5278000 millones con signo negativo y un van del 3% lo que demuestra que el proyecto no es rentable bajo las consideraciones e hipótesis asumidas anteriormente, Los resultados así mencionados del análisis económico son:

$$\text{TIR} = 3 \%$$

$$\text{VAN} = -5278000 \text{ dólares}$$

CONCLUSIONES

1. La realización del proyecto hidroeléctrico Chanchan ayudará a disminuir déficit de energía eléctrica que existe en el Ecuador y al mismo tiempo lograr la sustitución de la oferta energética térmica por hidroeléctrica.
2. Se concluye además que este río nos brinda dos proyectos el Chanchan Alto y el Chanchan Bajo que son totalmente excluyentes.
3. En lo que respecta a la parte geológica se puede concluir que las condiciones geológico-geotécnicas del terreno son aptas para la realización del proyecto ya que la mayor parte de las obras del proyecto estarán basadas en un suelo consolidado a excepción de algunas partes donde se tendrá que tener especial cuidado con lo que respecta a las filtraciones.
4. El estudio hidrológico es considerado como el más importante debido a que los datos son de 15 años pero bastante actualizados, los cuales con la correspondiente transposición realizada nos brindaron los datos necesarios para el estudio de ambos proyectos, con estos valores se pudo obtener la garantía correspondiente para cada caudal, curvas de variación estacional y la matriz de caudales promedios mensuales muy importante para la simulación de la operación de la central. Con los resultados del estudio fue posible

observar el comportamiento del río a lo largo del año, determinando así los períodos húmedo y seco a los cuales una central hidroeléctrica sería sometida.

5. El costo total del proyecto Chanchan alto es 4 millones de dólares mas barato que el del proyecto chanchan bajo y produce mayor nivel de energía, el costo de chanchan alto es de aproximadamente 20 millones de dólares.
6. Por medio del simulador PFIRM fue posible obtener resultados como caudales mensuales del aprovechamiento, energía y capacidad firme, generación de energía mensual, curva de duración de energía, entre otros, los cuales representan la operación de la central para 100 años de producción
7. Del análisis económico realizado se concluye que el Proyecto Hidroeléctrico Chanchan alto es factible realizarlo bajo las condiciones de financiamiento descritas en el Capítulo V, ya que los resultados indican una Tasa Interna de Retorno del 17 % la cual está por encima de la tasa de oportunidad que es del 10 % y de la misma manera se tiene un Valor Actual Neto de 290 mil dólares con signo positivo que demuestra que el proyecto si es rentable.
8. Se concluye que el proyecto chanchan bajo a pesar de estudiarse diferentes formas de financiamiento se determino que el TIR es de un 3% y el Van tiene signo negativo, por lo que este proyecto no es rentable.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda rechazar el proyecto Chanchan Bajo y que el proyecto Chanchan Alto pase a la etapa de factibilidad y Diseño, ya que seria muy importante tener estudios mas avanzados de este proyecto.
2. Se recomienda analizar los cambios que pueda brindar el CENACE sobre los pagos de energía, ya que el análisis del ingreso económico del proyecto se hizo bajo las condiciones actuales las cuales pueden variar en el transcurso de los años.
3. Se recomienda a la ESPOL, se trate de conseguir la concesión del Proyecto Chanchan Alto, el cual es un nuevo desarrollo hidroeléctrico, el cual fue descubierto en la fase de análisis de la presente tesis.

BIBLIOGRAFIA

1. Luís Cárdenas, Diana Cortez, José Armijos “Modelo de operación de Embalses” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006).
2. Manuel Benítez, Antonio Jiménez, Jimmy Ochoa “Aprovechamiento del Río Pita en la provincia de Bolívar para la construcción de una central (Proyecto Caluma Bajo)” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006).
3. Ramiro Ortiz Flores, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. (1era edición, Universidad del Valle, mcgraw-Hill).
4. Estudios de INECEL para la construcción de Centrales Hidroeléctricas de mediana capacidad.
5. Libros de informes de datos hidrológicos INHAMI.