

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO HIDROENERGÉTICO DEL
RÍO ALAMBI, PROVINCIA DE PICHINCHA**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**CALLE ARÉVALO SANTIAGO JONATHAN (solosanty@hotmail.com)
JAGUACO GUERRERO JORGE ENRIQUE (jagui767@hotmail.com)**

DIRECTOR: DR. – ING. MARCO CASTRO D. (macd0706@gmail.com)

Quito, Julio 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Santiago Jonathan Calle Arévalo y Jorge Enrique Jaguaco Guerrero, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**SANTIAGO JONATHAN
CALLE.**

**JORGE ENRIQUE
JAGUACO.**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Calle Arévalo Santiago Jonathan y Jaguaco Guerrero Jorge Enrique, bajo mi supervisión.

Dr. – Ing. Marco Castro D.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza que me ha dado para culminar las diferentes etapas de mi vida.

Agradezco también al Dr. Ing. Marco Castro, Ing. Ximena Hidalgo e Ing. Héctor Fuel quienes fueron parte importante en este proyecto, además de impartir sus conocimientos a lo largo de la carrera.

Agradezco a Paty y a Fer, por la ayuda brindada en el proyecto.

De igual manera mi agradecimiento para Jorge, mi compañero de tesis quien también ha sabido brindarme su sincera amistad.

Un agradecimiento especial a mi querido colegio Montúfar donde aprendí más que letras y números, donde además aprendí el valor de la amistad y lo importante de ser señor.

A mis amigos: Alex, José, Edison, Juan Carlos Mera y Espinosa, Carlos, Gustavo, Samir, Santiago, Jorge C, Juan Javier, Ely, quienes me apoyaron de todas las maneras posibles.

Para la persona que me supo inyectar fuerza para superar las adversidades, quien estuvo conmigo en una etapa difícil y me mostró una manera especial de ver la vida. Gracias "Ojos".

Para Anita Catalina, por estar conmigo de manera incondicional a pesar de todo.

Finalmente y sin ser menos importante, quiero agradecer a toda mi familia, por ser el apoyo perfecto en los malos momentos y sin los cuales no hubiese culminado esta etapa, gracias a todos.

Santiago Calle Arévalo

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a mis padres Rosi y Washington por haberme apoyado sin descanso a lo largo de mi vida, por no dejar que lo malo nos venza y enseñarme a ser perseverante en todo momento. También quiero dedicar muy especialmente a mi querida hermana Karen, por su generosidad y sacrificio, por no tener miedo a la responsabilidad que le impuso la vida.

Ustedes se merecen el más grande título que pueda dar cualquier institución. Los Amo.

Santiago Calle Arévalo

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por darme la oportunidad de vivir, soñar y luchar por mis ideales.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Marco Castro, quien fue nuestro director de proyecto, quien con su conocimiento nos guió para poder desarrollarlo.

A la Ing. Ximena Hidalgo y el Ing. Héctor Fuel que también contribuyeron al desarrollo del proyecto. Gracias también a la Ing. Fernanda Jara y la Ing. Paty Haro, quienes fueron participes fundamentales en el proyecto.

A la escuela Don Bosco, al colegio Juan Pío Montufar y especialmente a la Escuela Politécnica Nacional, gracias por haberme recibido y forjado en sus aulas, gracias a todos mis maestros y maestras.

A Santiago, mi compañero y amigo, con quien hicimos posible este trabajo.

A mis amigos Gustavo Ángulo y Carlos López que con su experiencia ayudaron a forjar la dedicación para lograr la culminación de éste.

A Marely por su constante preocupación y apoyo, gracias negra.

A mi prima Gladys Espín, gracias por su ayuda espontanea.

A todos mis amigos y compañeros; Samir, Jorge C, Juan E, Juan M, Ely, Alex, Edison; que con el mutuo apoyo en la carrera, hemos podido culminarla con éxito.

A mis amigos; Juan, Carlos, Andrés, Manolo, Pepe, Byron, Luis, David, Julio, Pedro, José Luis, Darwin, Patricio, Daniel, Víctor, que convivieron junto a mi parte de mi juventud, gracias por su apoyo y tiempo.

A las personas que forman parte de mi familia, a mis tíos: Enrique, Eulalia, Marco, Zoila; que han dado su tiempo y esfuerzo en mi vida, a mis demás tíos, Eduardo, Julio, Griselda, Jaime, César, Miguel, Susana.

A todos mis primos que son un ejemplo de superación.

Jorge Enrique Jaguaco G.

DEDICATORIA

Dedicado con mucho amor, a mi querida Mamá Leonor, aun te recuerdo y te extraño mucho, a mi abuelito Francisco que me dio su ejemplo de lucha y trabajo, a mis queridos padres Jorge y Angelita que con su sacrificio, paciencia, ejemplo y dedicación han hecho que lo logremos juntos, este título es suyo padres de mi corazón; a mi hermana Tana, que es, ha sido y será un ejemplo de vida y amor; a mi sobrina Evelyn que es una semilla que debe germinar hasta lo más alto, sigue adelante, lucha por tus sueños sobrina querida, a mi tío Enrique, que ha sido siempre un segundo padre en mi familia, a mi tía Eulalia que siempre ha estado dándome su apoyo en el transcurso de mi vida, a mis amigos y compañeros; y finalmente al equipo de mis amores Aucas.

Jorge Enrique Jaguaco G.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VIII
RESUMEN	XIX
PRESENTACIÓN.....	XX
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 DEFINICIONES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA: ASPECTOS FÍSICOS Y SOCIO – ECONÓMICOS.....	3
1.2.1 ASPECTOS FÍSICOS.....	3
1.2.2 ASPECTOS SOCIO – ECONÓMICOS.....	3
1.3 GENERALIDADES DEL PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN DEL ECUADOR Y DE LA LEGISLACIÓN PERTINENTE RESPECTO DEL DESARROLLO DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS (POTENCIA INSTALADA MENOR A 10 MW).....	4
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y LAS ALTERNATIVAS DE ENERGÍAS RENOVABLES	5
1.5 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	5
1.6 INFORMACIÓN BÁSICA DISPONIBLE: CARTOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, GEOLOGÍA REGIONAL, PROYECTOS SIMILARES EN LA ZONA, ASPECTOS SOCIO-CULTURALES	6
1.6.1 CARTOGRAFÍA.....	6
1.6.2 HIDROLOGÍA	7
1.6.3 GEOLOGÍA REGIONAL	7
1.6.4 PROYECTOS SIMILARES EN LA ZONA.....	9

1.6.5	ASPECTO SOCIO – CULTURALES	9
CAPITULO 2		12
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA		12
2.1	ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO: UBICACIÓN GEOGRÁFICA, PARÁMETROS DE LA CUENCA, OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA, COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	12
2.1.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	12
2.1.2	PARÁMETROS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	13
2.1.3	OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA	14
2.1.4	COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	15
2.2	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS BÁSICOS	15
2.2.1	GEOMORFOLOGÍA	15
2.2.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	19
2.2.3	GEOLOGÍA.....	20
2.2.4	ESTRATIGRAFÍA	21
2.3	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CURSO NATURAL	22
2.3.1	PENDIENTE LONGITUDINAL Y PERFIL.....	22
2.4	CLIMATOLOGÍA.....	22
2.4.1	PRECIPITACIÓN.....	22
2.4.2	TEMPERATURA	25
2.4.3	VIENTOS.....	28
CAPITULO 3		29
ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO		29
3.1	INTRODUCCIÓN.....	29
3.1.1	SISTEMA HIDROLÓGICO EN LA CUENCA	29
3.1.2	ESTACIONES DISPONIBLES.....	30
3.1.2.1	Información Climática.....	30
3.1.2.2	Información Hidrológica.....	31

3.2	LLUVIA DE DISEÑO OBTENIDA DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.....	32
3.3	TRANSFORMACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA: CONDICIONES GENERALES: LLUVIA NETA Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN ZONA RURAL	34
3.4	APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL EN ZONAS RURALES....	35
3.5	USO DEL MODELO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA, TIPO HIDRO ..	36
3.6	DEFINICIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO	36
3.6.1	CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS	36
3.6.2	CAUDALES MÁXIMOS	37
3.7	DETERMINACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN GENERAL.....	38
3.8	SELECCIÓN DEL CAUDAL CON GARANTÍA DEL 95%	40
CAPITULO 4		43
ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS		43
4.1	ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA: 43	
4.2	ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE FONDO EN EL CURSO NATURAL:.....	44
4.3	ANÁLISIS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN EN EL CURSO NATURAL:.....	44
CAPITULO 5		45
DISEÑO BÁSICO HIDRAÚLICO Y ESTRUCTURAL		45
5.1	CAPTACIÓN DE AGUA:.....	45
5.1.1	AZUD.....	49
5.1.2	ORIFICIO DE DERIVACIÓN	50
5.1.3	DESRIPADOR.....	51
5.1.4	DESARENADOR.....	52
5.1.5	VERTEDERO DE EXCESOS	54
5.1.6	CANAL DE LIMPIEZA	54
5.2	OBRAS DE ADUCCIÓN:.....	55

5.3	TANQUE DE CARGA:.....	57
5.4	TUBERÍA DE PRESIÓN Y ANCLAJES:	59
5.5	CASA DE MÁQUINAS:.....	61
5.6	CANAL DE RESTITUCIÓN	62
CAPITULO 6		64
DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO		64
6.1	SELECCIÓN BÁSICA DE TURBINAS: TIPO Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	64
6.1.1	POTENCIA Y EFICIENCIA DE LAS TURBINAS	65
6.1.2	VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y ESPECÍFICA	66
6.2	SELECCIÓN BÁSICA DE EQUIPO DE REGULACIÓN Y CONTROL EN LA GENERACIÓN	71
6.2.1	CRITERIOS DE ESTABILIDAD Y SOBREVOLOCIDAD	72
6.2.2	DISEÑO REFERENCIAL DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA.....	74
6.2.3	CAPACIDAD DEL PUENTE GRÚA.....	74
6.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÍNIMAS DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	75
6.3.1	CENTRAL DE GENERACIÓN.....	75
6.3.2	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA SUBESTACIÓN.....	75
6.3.3	MALLA DE TIERRA.....	76
6.3.4	APANTALLAMIENTO	77
6.3.5	COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO	77
6.3.6	DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIOS AUXILIARES.....	78
6.3.6.1	Baterías de control	78
6.3.6.2	Transformador de servicios auxiliares	78
6.3.6.3	Tableros de control medida y protección.....	79
6.3.6.4	Sistema de automatización de la central	79
6.4	GENERALIDADES SOBRE LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN	79

CAPITULO 7	82
EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	82
7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y DE LAS ZONAS DE INFLUENCIA	82
7.2 SELECCIÓN DE LÍNEA BASE	83
7.2.1 AMBIENTE FÍSICO	83
7.2.2 AMBIENTE BIÓTICO.....	85
7.2.2.1 Recursos Acuáticos.....	85
7.2.3 RECURSOS TERRESTRES.....	85
7.2.3.1 Flora.....	85
7.2.3.2 Fauna.....	86
7.2.4 MEDIO HUMANO.....	87
7.3 LISTA DE CHEQUEO DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES	88
7.3.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	88
7.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL CANAL, TÚNEL, TANQUE DE CARGA Y TUBERÍA DE PRESIÓN.....	89
7.3.3 ETAPA DE OPERACIÓN	89
7.4 MATRIZ DE VALORACIÓN.....	90
 CAPITULO 8	 103
EVALUACION ECONÓMICA Y FINANCIERA A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD 103	
8.1 VOLÚMENES DE OBRA:.....	103
8.2 ÁNÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS:	105
8.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINANCIERA:.....	107
8.4 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS PROYECTOS EN FORMA INDIVIDUAL:	108

CAPITULO 9	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
9.1 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES TÉCNICAS, ECONÓMICAS, FINANCIERAS Y AMBIENTALES DE LOS DOS PROYECTOS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD:.....	110
9.1.1 EVALUACIÓN TÉCNICA.....	110
9.1.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA.....	111
9.1.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL:	113
9.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA VARIACIÓN DE LAS DIFERENTES VARIABLES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS:	114
9.3 RECOMENDACIONES PARA LAS SIGUIENTES FASES DE LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO:.....	114
ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación de la zona del proyecto Palmira.	9
Figura 2.1: Ubicación de la zona del proyecto dentro del territorio nacional.	12
Figura 2.2: Pendientes de la zona. Leyenda ver en histograma.....	17
Figura 2.3: Histograma de pendientes, zona de proyecto Tulipe.	18
Figura 2.4: Relieve de la zona de Proyecto.....	19
Figura 5.1: Corte longitudinal de la Bocatoma en el Río Alambi.	48
Figura 5.2: Planta de la Bocatoma en el Río Alambi.	48
Figura 5.3: Corte longitudinal de la Bocatoma en el Río Tulipe.....	48
Figura 5.4: Planta de la Bocatoma en el Río Alambi.	49
Figura 5.5: Perfil Tipo Umbral.....	50
Figura 5.6: Galería de Captación.	51
Figura 5.7: Vista en Planta y Corte longitudinal del desarenador en el río Tulipe.	52
Figura 5.8: Esquema del trazado del túnel de trasvase desde el Río Alambi hasta el paso subfluvial en el Río Tulipe.	55
Figura 5.9: Sección transversal del túnel	56
Figura 5.10: Sección transversal del canal.....	56
Figura 5.11: Vista en planta y corte del Tanque de Presión.....	58
Figura 5.12: Vista en corte Canal de Restitución.	62
Figura 5.13: Detalles del Canal de Restitución.....	63
Figura 6.1: Eficiencia de turbinas hidráulicas.	66
Figura 6.2: Selección del Tipo de Turbina.....	69
Figura 6.3: Selección tipo de turbina.	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Variación Estacional de la Precipitación Calacalí INAMHI.....	23
Gráfico 2.2: Variación Estacional de la Precipitación Nanegalito.	23
Gráfico 2.3: Variación Interanual de la Precipitación.....	24
Gráfico 2.5: Variación Altitudinal de la Precipitación.	25
Gráfico 2.5: Variación Estacional de la Temperatura La Perla.....	26
Gráfico 2.6: Variación Interanual de la Temperatura La Perla.....	27
Gráfico 2.7: Variación Altitudinal de la Temperatura.	28
Gráfico 3.1: Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia.	34
Gráfico 3.2: Curva de Duración General Río Alambi, Captación.....	39
Gráfico 3.3: Curva de Duración General Río Tulipe, Captación.....	39
Gráfico 6.1: Velocidad Específica Turbina.	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1: Características Físicas de las Cuencas de la Captación Tulipe y Captación Alambi.	13
Cuadro 2.2: Coordenadas UTM en el Sistema PSAD 56 de las zonas de interés del proyecto.....	14
Cuadro 2.3: Área y porcentaje de pendientes del área.	18
Cuadro 2.4: Precipitaciones Representativas (1976-2006).	24
Cuadro 3.1: Estaciones Meteorológicas.....	30
Cuadro 3.2: Estaciones Pluviométricas.....	31
Cuadro 3.3: Estaciones Hidrométricas.	32
Cuadro 3.4: Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia.	33
Cuadro 3.5: Caudales Instantáneos de Máxima Crecida para la estación río Alambi en Churupamba, con 90 % de confianza.....	37
Cuadro 3.6: Caudales de Máxima Crecida para los Sitios de Captación.	38
Cuadro 3.7: Caudales Naturales para los sitios de Captación.	40
Cuadro 3.8: Caudales Disponibles para Captación Tulipe.	41
Cuadro 3.9: Caudales Disponibles para Captación Alambi.	42
Cuadro 4.1: Sólidos Totales, Río Alambi en Churupamba.	44
Cuadro 4.2: Sólidos Totales para los sitios de Captación.	44
Cuadro 6.1: Parámetros fundamentales de Diseño.....	64
Cuadro 6.2: Velocidades específicas y de rotación.....	67
Cuadro 6.3 Selección Tipo de turbina.	69
Cuadro 6.4: Resumen de cálculos realizados	71
Cuadro 6.5: Parámetros referenciales de regulación.	71
Cuadro 6.6: Criterios de estabilidad y sobrevelocidad.	73
Cuadro 6.7: Válvula de compuerta.	74
Cuadro 6.8: Puente grúa.	74
Cuadro 6.9: Cálculo del conductor para la línea de Transmisión	81
Cuadro 7.1: Matriz de Valoración.	90
Cuadro 7.2: Valoración Ambiental.....	91
Cuadro 7.3: Matriz de calificación de Impactos Ambientales.	92

Cuadro 7.3: Matriz de calificación de Impactos Ambientales.	93
Cuadro 8.1: Principales Rubros considerados para la Evaluación de Volúmenes de Obra.	103
Cuadro 8.2: Presupuesto de Prefactibilidad de la Central Tulipe.	106
Cuadro 8.3: Análisis de la viabilidad financiera de los proyectos en forma individual.	108
Cuadro 8.4: Análisis de la viabilidad económica de los proyectos en forma individual.	109
Cuadro 9.1: Costos de operación y mantenimiento.	111

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 5.1: Zona de la captación en el río Alambi.	46
Foto 5.2: Zona de captación del proyecto en el río Tulipe.....	47

RESUMEN

El interés del proyecto es el aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas bajas de los ríos Tulipe y Alambi, por debajo de la cota 904 msnm.

Se realiza el trasvase de las aguas del Río Tulipe hacia el Río Alambi, para ser turbinadas aproximadamente en la cota 848 msnm.

Se analizan dos alternativas. En el tramo inicial, donde básicamente las dos alternativas son idénticas, están constituidas por las obras de captación (rejilla de fondo) en los ríos Alambi y Tulipe, cada una con su respectivo desarenador; un tramo de la conducción que está conformado por un túnel tipo baúl de 3.50 m de ancho y 3.50 m de alto, que conducirá el agua captada en el río Alambi hacia un canal trapezoidal, de 1.20 m de base, y cuyas paredes presentan una inclinación de 45°. Dependiendo si el canal se lo ubica en la margen derecha o en la margen izquierda del río Tulipe, se da paso al desarrollo de las dos alternativas, en el tramo final de la conducción.

En la alternativa I, se continúa con un paso subfluvial hacia el tramo final de la aducción, conformada por una canal a cielo abierto y que se desarrolla sobre la margen derecha del río Tulipe y del río Alambi, aguas abajo de la confluencia entre los dos. Posteriormente se presentan el tanque de presión, la tubería de presión, la casa de máquinas y la obra de restitución hacia el río Alambi.

La alternativa II, examinada en la fase inicial de desarrollo del proyecto, continúa con el canal sobre la margen derecha del río Tulipe hasta encontrarse en la zona de confluencia con el río Alambi, en donde se ubicaba el tanque de presión, la tubería de presión y la casa de máquinas del perfil original del proyecto. Es decir, la diferencia entre las dos alternativas radica en la ubicación del tanque de presión y la casa de máquinas, con lo que también varía la longitud del canal trapezoidal de aducción, luego del túnel de trasvase.

ABSTRACT

Interest of the present project is the use of the hydraulic resources from the small hydrological basins in the Tulipe and Alambi rivers, below 904 level. The flow of water is conducted from Tulipe river to Alambi river for hydroelectric power, at the 848 level, by means of Pelton turbines.

Two alternatives for each project are analyzed. In the first part of these alternatives are both identical. The hydroelectric projects are conformed for a Tirol intake (with bottom grid), a disander (sand remover), and a water supply pipe; the first part of the water supply pipe is a tunnel trunk type (3.5 x 3.5m), this one will take the water from intake to trapezoidal channel with 1.20 m bottom, and 45° wall inclination. The two alternatives for the second part depend if the channel is located at the left or right riverside of Tulipe river.

At the Alternative I, there is a sub fluvial pipe ending the water flow through an open channel, which is located at the right riverside of the Tulipe and Alambi rivers. Under stream of the intersection of two rivers, there are finally located the other works, pressure tank, penstock, power house and water restitution work to the Alambi river.

At the Alternative II, which was exanimate at the initial phase of the project development, the open channel continues in the right riverside of Tulipe River until the intersection zone with Alambi River. In this zone is located the pressure tank, the penstock and the power house. That is to say, the difference between the two alternatives is the location of the pressure tank, the penstock and the power. For this reason, there are changes of the length of trapezoidal open channel and of the tunnel.

PRESENTACIÓN

La energía hidráulica se ha usado durante años para la obtención tanto de energía mecánica, como para uso directo en energía eléctrica. Las ventajas que presenta este tipo de aprovechamiento energético son, su bajo costo de generación, bajo costo de mantenimiento, no requiere abastecimiento de combustibles, no presenta problemas de contaminación, puede compatibilizarse con el uso del agua para otros fines, y una larga vida útil. Tiene limitaciones en cuanto a la disponibilidad de los recursos hidráulicos, dependencia de factores meteorológicos y estacionales, además se requiere de una importante inversión, considerando las obras civiles e instalaciones de la central hidroeléctrica.

Debido a la creciente demanda de energía en el país, las instituciones gubernamentales buscan la manera de aprovechar el recurso hídrico existente con la construcción de centrales hidroeléctricas para la generación de “energía limpia”.

La presente investigación contiene el Análisis del aprovechamiento hidroenergético en el río Alambi, el cual se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Para el desarrollo equitativo y sustentable del país, se necesita un buen manejo de explotación de sus recursos, uno de los recursos indispensables en el desarrollo es la electricidad. Para la generación de energía eléctrica limpia se hace necesario el contar con centrales hidroeléctricas.

Con el antecedente antes mencionado, se plantea el presente Análisis del Aprovechamiento Hydroenergético en el Río Alambi.

1.1.1 DEFINICIONES¹

- Microcentral hidroeléctrica, se define como tal, cuando se dispone de caudales de algunos litros por segundo y alturas de caída de 4 – 100m; que alcanzan potencias hasta del orden de 100Kw.
- Altura Neta de diseño: Es la caída para la cual se diseña la turbina para su mayor eficiencia.
- Caudal Promedio: Es el promedio aritmético de los caudales naturales del río registrado en un tiempo lo suficientemente representativo.

¹ Reinoso A. (2005), Estudio de Prefactibilidad de una Microcentral Hidroeléctrica, Quito.

- Caudal de Diseño: Es el caudal para el cual se diseñan las obras de un aprovechamiento hidráulico con una determinada probabilidad ($Q_{\text{diseño}}$ Microcentral Hidroeléctrica = Q_{90}).
- Curva de Duración General: Representación gráfica en orden decreciente de los caudales observados de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia.
- Factor de Instalación: Es la relación entre la potencia continua y la potencia instalada.
- Potencia Instalada: Suma de las potencias nominales de los equipos o unidades que conforman una microcentral.
- Potencia Nominal del equipo: Potencia de placa de la turbina y generador.
- Energía Firme: Es la producción anual efectiva de una planta hidráulica que en función de los caudales mensuales aportados y la capacidad del reservorio, asegure una probabilidad de ocurrencia del 90%.
- Beneficio Neto: Diferencia entre beneficio actualizado y el costo total actualizado.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA: ASPECTOS FÍSICOS Y SOCIO – ECONÓMICOS

1.2.1 ASPECTOS FÍSICOS²

Las cuencas hidrográficas hasta los sitios de captación del Proyecto Tulipe, se encuentran ubicadas al noroccidente de la Ciudad de Quito y corresponden a los ríos Alambi y Tulipe. El río Alambi y su afluente río Pichán nacen en las estribaciones del volcán Rucu Pichincha; son afluentes también los ríos Tandayapa, Saguangal, Verde Cocha y la Quebrada Cununyacu.

Las poblaciones de referencia existentes en la zona son Nono, Calacalí, Nanegal, Tandayapa, Nanegalito.

1.2.2 ASPECTOS SOCIO – ECONÓMICOS³

La población total de la parroquia de Nanegal, es de 2560 habitantes. La población está encaminada especialmente a la ganadería, tanto para consumo como para una pequeña comercialización. El turismo se ha incrementado en los últimos tiempos, puesto que la zona es rica en flora y fauna nativa.

La tasa de desempleo es baja, puesto que se dedican a trabajar sus tierras o se emplean en haciendas vecinas a sus propiedades.

La fertilidad de la tierra en la zona en que se desarrollará el proyecto, permite el cultivo de varias especies, con restricciones por tener una topografía irregular, típica de ladera de montaña, con fuerte pendiente e inestable. A pesar de ello, las

² Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

³ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

personas dedicadas a la agricultura han generado plantaciones de caña de azúcar para la elaboración de panela y aguardiente, banano, naranjilla, papaya, limón, babaco y aguacate.

La siembra de pastos para la cría de ganado lechero es otra actividad importante, siendo el principal rubro de ingreso económico de la zona. La ganadería se mira como la principal actividad, con una producción lechera a la que están ligados 300 productores que ofertan 200000 litros mensuales, vendidos en su mayoría a la transnacional Nestlé. Existe reclamo de ese segmento poblacional, por el pretendido control del precio del litro de leche, pues se sienten perjudicados.

Los beneficios de la producción lechera sirven para cubrir las necesidades básicas diarias de las familias, con muy pocos excedentes. El desarrollo de otras actividades como la industria de manufactura (ligada a la extracción de madera), las microempresas agroindustriales y el turismo ecológico es lento, debido a las condiciones económicas generales del país en la última década.

1.3 GENERALIDADES DEL PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN DEL ECUADOR Y DE LA LEGISLACIÓN PERTINENTE RESPECTO DEL DESARROLLO DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS (POTENCIA INSTALADA MENOR A 10 MW)

A través de las últimas reformas a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico publicadas el 26 de septiembre de 2006, se dio un importante giro con relación a una de las funciones asignadas al Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)⁴, cuando se estableció la obligación de elaborar un Plan Maestro de Electrificación, que garantice la continuidad del suministro de energía eléctrica, basado en el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, promoviendo la ejecución

⁴ Plan Maestro de Electrificación. (2006), Ley de Régimen del Sector Eléctrico, Quito.

oportuna de proyectos de generación, agotando para ello los mecanismos que la Ley le concede.

El objetivo central del Plan Maestro de Electrificación en materia de generación, consiste en garantizar el abastecimiento de la demanda durante el período de análisis, en las mejores condiciones de seguridad y economía, procurando el autoabastecimiento interno, con la menor afectación ambiental y social.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y LAS ALTERNATIVAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Como objetivo fundamental del proyecto se plantea el aprovechamiento de los recursos hídricos de la región, con miras a la generación de energía limpia, tomando en consideración los caudales disponibles en los ríos Alambi y Tulipe así como las condiciones favorables de orografía, topografía y características geológicas, en el tramo comprendido entre las cotas 910 msnm y 860 msnm. La generación de hidroenergía eléctrica, que en este caso debe alimentar al SIN (sistema nacional interconectado), permitirá no sólo disminuir el grave déficit energético del país tanto en el área urbana como en el sector rural sino también forma parte de una de las principales medidas de adaptación al cambio climático.

1.5 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

- Demostrar la viabilidad técnica, económica - financiera y ambiental a nivel de prefactibilidad, de las obras requeridas para el funcionamiento de los aprovechamientos hidroeléctricos.

- Preparar la documentación y especificaciones técnicas necesarias para continuar con la fase de diseño de Factibilidad y de Diseño Definitivo de los aprovechamientos hidroenergéticos, en el caso de que el proyecto sea viable a criterio del Ministerio de Electricidad y Energías.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones donde se establecen las fortalezas y debilidades del análisis del aprovechamiento.

1.6 INFORMACIÓN BÁSICA DISPONIBLE: CARTOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, GEOLOGÍA REGIONAL, PROYECTOS SIMILARES EN LA ZONA, ASPECTOS SOCIO-CULTURALES

1.6.1 CARTOGRAFÍA

En el área de estudio se dispone de la siguiente información cartográfica:

- ❖ Carta IGM, escala 1:50000: Vacas Galindo
- ❖ Carta IGM, escala 1:25000: García Moreno
- ❖ Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0° y 1° norte, BGS-CODIGEM, 1998.
- ❖ Hoja Geológica Pacto, DGGM, 1978.
- ❖ Mapa Geológico Proyecto Guayllabamba, INECEL, 1979.
- ❖ Mapa Geológico Proyecto Guayllabamba, INECEL, 1977.
- ❖ El sitio de captación en el río Tulipe se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: longitud 78°42.2'W, latitud 0°10.6' N. La carta topográfica de

escala 1: 50.000 del IGM, que contiene la sección de captación, se denomina Vacas Galindo; la cuenca hidrográfica se desarrolla en las cartas Río Guayllabamba y Calacalí.

- ❖ El sitio de captación en el río Alambi se ubica geográficamente en las siguientes coordenadas: longitud 78°41.4', latitud 0°10.1' N. La carta topográfica 1: 50.000 del IGM que contiene esta captación Alambi es Vacas Galindo; la cuenca se extiende también en las cartas Calacalí, Nono, El Quinche y San Miguel de los Bancos.
- ❖ Restitución aerofotogramétrica, escala 1:10 000 sobre una fotografía escala 1:60 000, tomada por el IGM, del año 2000. Las curvas de nivel se presentan cada 10 m.

1.6.2 HIDROLOGÍA⁵

El Estudio Hidrológico para el Proyecto - Central Hidroeléctrica Tulipe, comprende la caracterización del clima de la zona del proyecto, la determinación de los caudales naturales y de los caudales disponibles para el aprovechamiento, considerando los usos del agua y los caudales ecológicos y, la estimación del arrastre de sedimentos de los ríos, que constituyen las fuentes de agua del proyecto.

1.6.3 GEOLOGÍA REGIONAL⁶

La zona definida para el proyecto se encuentra al extremo norte de la confluencia de los ríos Tulipe y Alambi, al este del pueblo llamado Urcutambo, que se

⁵ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

⁶ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Geológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

encuentra a 7 km al noroccidente de Nanegal. Corresponde a las estribaciones de la cordillera occidental, al noroccidente de la provincia de Pichincha.

La Geología regional está caracterizada por las unidades estratigráficas Mulaute, Pilatón y Silante, aflorantes de oeste a este en el orden indicado, en contacto fallado e intruídos por el Batolito Apuela Nanegal. La unidad Pilatón se encuentra en parte cubierta por volcánicos cuaternarios de gran espesor en el límite sur del Batolito Apuela Nanegal en dirección hacia el occidente, conocidos como formación San Tadeo.

Al este de estas unidades aflorantes se encuentran afloramientos de las unidades Pallatanga, Natividad, Río Calá. La estratigrafía está limitada regionalmente por las estructuras y por esta razón se las describe en el Anexo No. D en tres zonas: una, al Nor-Oeste de la falla Canandé; la otra, al oeste de la falla Toachi; y la última, al este de la falla Toachi.

En general, la geología de la región se encuentra dominada por el batolito de Apuela Nanegal, correspondiente a un cuerpo intrusivo granodiorítico de gran extensión. Sus afloramientos se encuentran en roca fresca, alterada, y suelo formado del mismo granito. Las estructuras regionales dominantes corresponden a orientaciones NE-SO, que se relacionan con las estructuras locales encontradas.

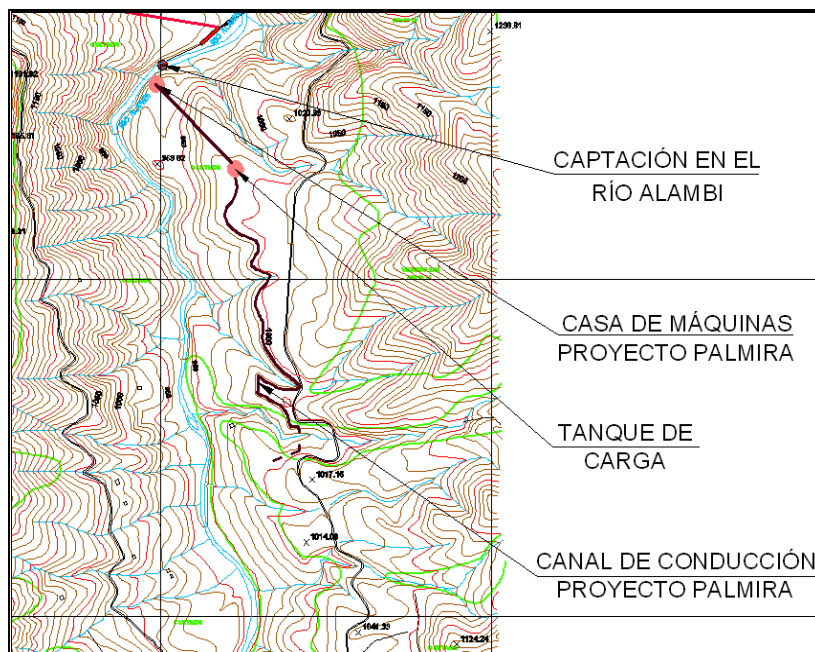
Se han desarrollado además terrazas altas muy fáciles de reconocer en fotografías aéreas, que corresponden a depósitos laharíticos reconocidos como Formación San Tadeo por la DGGM (1978). Se han identificado depósitos aluviales recientes y pocas unidades coluviales.

Las unidades estratigráficas de mayor interés para el estudio son las que se encuentran al este de la falla Toachi, a saber: Unidad Pallatanga (KPa), Unidad Natividad (KN), Unidad Río Cala (KRC), Unidad Mulaute (KML), Unidad Pilatón (KPL), Unidad Yunguilla (KY), Unidad Silante (EOSL), Batolito de Apuela, y, Formación San Tadeo.

1.6.4 PROYECTOS SIMILARES EN LA ZONA

Uno de los proyectos que se ha realizado en la zona es el Proyecto Hidroeléctrico Palmira, cuyo estudio se lo realizó en marzo de 2006. El proyecto Palmira tiene 10 MW de capacidad, y se encuentra ubicada en la zona noroccidental de la Provincia de Pichincha, aguas arriba de donde se proyecta la obra de toma sobre el río Alambi, como se puede ver en la Figura 1.1.

Figura 1.1: Ubicación de la zona del proyecto Palmira.



Fuente: Informe, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

1.6.5 ASPECTO SOCIO – CULTURALES⁷

Esta zona está fraccionada en su mayor parte por haciendas, sin embargo cerca del centro poblado de Nanegal existen minifundios y pequeños lotes, pero al alejarse del centro, las tierras pertenecen a hacendados. Las tierras son

⁷ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

ocupadas por cultivos de baja productividad, al igual que los páramos, bosques y pastizales, que conforman el restante de la superficie.

El territorio de la parroquia de Nanegal tiene potencial turístico, pues dispone de sitios con atractivo, como:

- ❖ La Piragua, cascada ideal para contemplar e incluso bañarse. Está ubicada a 15 min., caminando desde el parque central de Nanegal.
- ❖ Río Alambi, donde se ejecuta rafting, regatas, excursiones, entre otros deportes y atractivos turísticos.

- ❖ Reserva Maquipucuna, con una extensión de 6000 hectáreas, llenas de diversidad, donde las especies de aves suman 340 especies, las mariposas exóticas 250 especies, 2000 especies de plantas y 50 especies de mamíferos. Se han trazado 8 senderos para caminatas y sitios para natación. El sitio de información de la Reserva, tiene instalaciones para alojamiento y alimentación.

- ❖ Reserva del río Alambi, bosque protector alrededor del río, a una altura de 1480 msnm, es reconocida internacionalmente por ser mega diversa, ubicada en la región del Chocó ecuatoriano y a pocos minutos de la línea ecuatorial.

Las reservas Histórico – Arqueológicas se ubican en la zona denominada Tulipe. Existe un museo arqueológico entre Nanegal y Mindo, relacionada con esa cultura. Es uno de los complejos arqueológicos más importantes de la región, pues en las investigaciones realizadas en el lugar, se han encontrado restos de cerámica del estilo Cotocollao, correspondiente al Formativo de la Sierra (1500 a. de C.). Lo más representativo se ha establecido en el periodo de Integración (800 d. de C.) con la presencia de la nación Yumba.

Desde 1982 se iniciaron los estudios de las llamadas “Piscinas” de Tulipe, después de valorar la importancia de este asentamiento prehispánico. Unas

estructuras de piedra semi hundidas, en medio del bosque húmedo tropical del noroccidente de la provincia de Pichincha, interesaron el esclarecer el contexto histórico - cultural y cronológico de estas evidencias.

Este tipo de restos arqueológicos son ideales para la búsqueda de la identidad local – regional y también fomentan el turismo de conociendo de nuestros orígenes.

CAPITULO 2

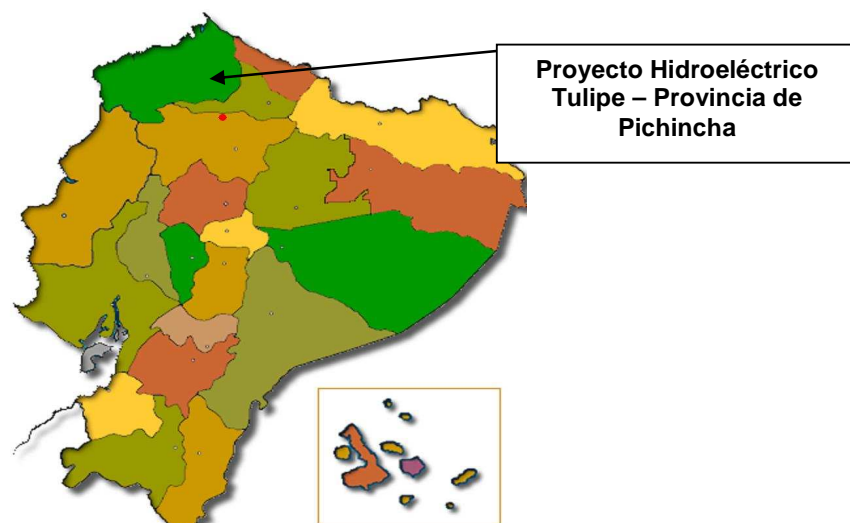
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

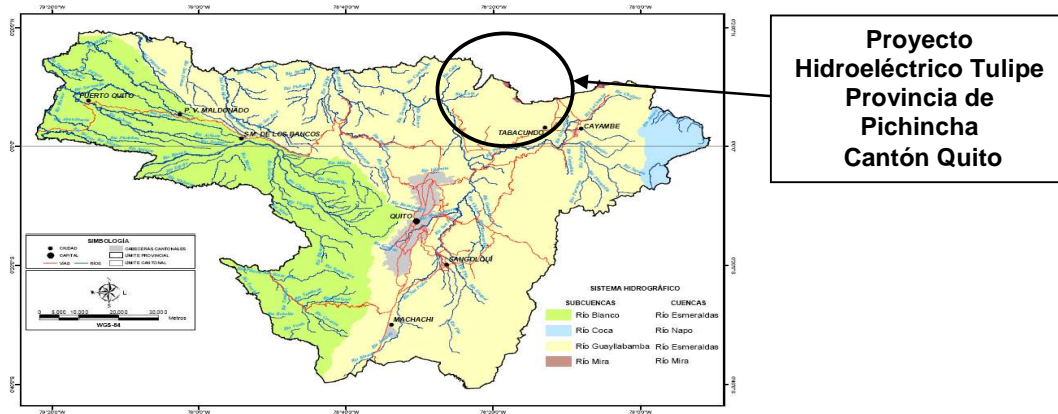
2.1 ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO: UBICACIÓN GEOGRÁFICA, PARÁMETROS DE LA CUENCA, OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA, COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Proyecto de la Central Hidroeléctrica Tulipe, se ubica en el noroccidente de la Provincia de Pichincha, en el Cantón Quito, Parroquia Nanegal, y tiene como acceso la carretera Quito – Calacalí – Los Bancos. El área donde se desarrolla el proyecto está situada a 36 km de la ciudad de Quito. En la Figura 2.1, se indica la zona del proyecto.

Figura 2.1: Ubicación de la zona del proyecto dentro del territorio nacional.





Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

2.1.2 PARÁMETROS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Los parámetros físicos de las cuencas de incidencia para el estudio de Prefactibilidad de la Hidroeléctrica Tulipe son las siguientes:

Cuadro 2.1: Características Físicas de las Cuencas de la Captación Tulipe y Captación Alambi.

PARAMETROS	Cuenca Captación Alambi	Cuenca Captación Tulipe
Área (km ²)	452.22	73.73
Perímetro (km)	130.98	47.33
Longitud del Cauce Principal (km)	56.10	21.07
Kc (sin unidades)	1.73	1.54
Pendiente media Cauce (m/m)	0.055	0.09
Pendiente media Cuenca (m/m)	0.65	0.42
Elevación media Cuenca	2280	1550

Fuente: Informe, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Elaboración: Santiago Calle A.

2.1.3 OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

Para el estudio de prefactibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Tulipe se realizó el análisis topográfico que consistió en colocación de puntos GPS para referenciar el sitio del proyecto en coordenadas UTM y obtener la información necesaria para la determinación de los parámetros relacionados con cotas, longitudes y áreas para el diseño de las obras que involucran la construcción de la Central Hidroeléctrica Tulipe.

La red GPS colocada en los sitio de interés y que corresponden a la zona donde se implantará la casa de máquinas, zona del tramo del canal de conducción y zona de captación, se encuentra georeferenciada tanto en coordenadas como en cota con respecto al sistema PSAD 56 en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.2: Coordenadas UTM en el Sistema PSAD 56 de las zonas de interés del proyecto.

Código	Este	Norte	Cota(m.s.n.m.)	Descripción
R-CUM-1	9978448.964	785501.021	2392.423	Pto. Base (Hito EMAAP-Q) Red GPS
V-L5-12	10015553.089	758946.474	1127.032	Pto. Base (Hito IGM) de la Red GPS
Sector de la Casa de Maquinas				
CT 5	10021547.982	756650.216	964.878	Pto. GPS CT5
CT 6	10021615.503	756793.048	896.094	Pto. GPS CT6
CT 7	10021223.225	756533.870	1029.452	Pto. GPS CT7
Sector de la Bocatoma Río Alambi				
CT 1	10020480.511	756955.390	935.768	Pto. GPS CT1
CT 2	10020521.114	757085.620	946.330	Pto. GPS CT2
Sector de la Bocatoma Río Tulipe				
CT 3	10020033.312	755853.165	963.061	Pto. GPS CT3
CT 4	10020000.265	755931.515	996.115	Pto. GPS CT4

Fuente: Informe, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Elaboración: Jorge Jaguaco G.

Los chequeos de campo fueron realizados en base a vértices medidos, en los sistemas de coordenadas respectivos PSAD56 y WGS84, determinando el factor de escala para cada vértice. Se ha trabajado preferentemente con las coordenadas del sistema UTM ECUADOR PSAD56, debido a que toda la información original está en este sistema.

El hito del Instituto Geográfico Militar IGM, con código V-L5-12 es un punto de control vertical y los datos para el control horizontal fueron verificados respecto del hito de la EMAAP-Q, con código R-CUM-1.

2.1.4 COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

La cobertura vegetal existente en la zona corresponde:

- La parte superior de la cuenca de río Alambi se encuentra en el área natural, y la vegetación característica es arbustiva; y,
- En el tramo medio y bajo se aprecian desarrollos agrícolas, principalmente pasto.

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS BÁSICOS

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA⁸

En general se presentan relieves ondulados formando superficies redondeadas y planas.

⁸ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Geológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

El río Alambi es el río principal que circula de sur a norte. Su cauce atraviesa un valle abierto con zonas de pendientes suaves entre los 900 msnm, se profundiza y se cierra en la unión con el río Tulipe (880 msnm). Este río fluye casi en paralelo; su drenaje cursa de sur a norte en dirección N-NNE.

El río Tulipe y el río Alambi, se encuentran separados por una cuchilla poco elevada de hasta 400 metros, desde el cauce del río hasta su punto más alto. Esta marca la divisoria de aguas de los dos ríos en dirección norte-sur.

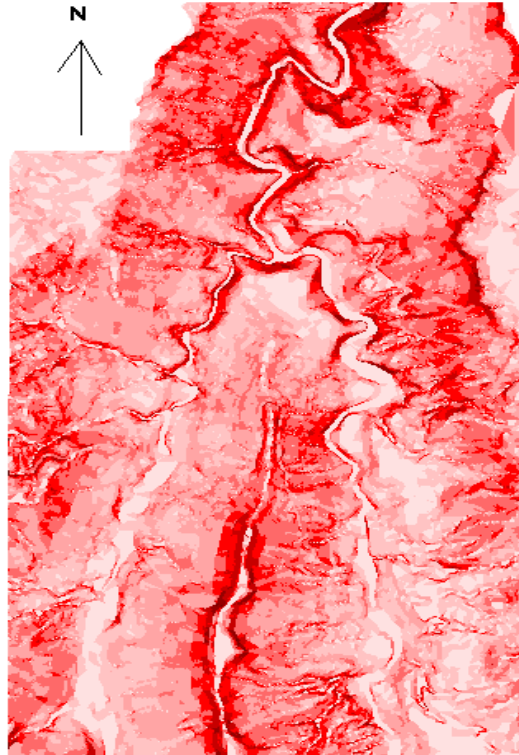
Hay un cambio angular particular en los dos ríos: El río Tulipe cambia su curso sur-norte (N-NE), 90 grados hacia el este corriendo en dirección E-ES por 300 metros, hasta su unión con el río Alambi. El río Alambi cambia su curso sur-norte, 90 grados hacia el oeste, cursando de este a oeste por 250 metros antes de juntarse con el río Tulipe. A partir de la unión de estos dos ríos, el río Alambi continúa su curso hacia el norte por un valle cerrado, de alta pendiente, hasta su confluencia con el río Guayllabamba.

En la red de drenaje no se encuentran ríos aportantes grandes, sino unas pocas quebradillas poco profundas; la densidad de drenaje es baja y, los pocos aportantes forman ángulos agudos. El sistema es un drenaje integrado rectangular, asimétrico.

Las elevaciones se pueden dividir en tres grupos: (1) Zonas bajas, relacionadas a los cauces del río Alambi, que varían entre 900 y 1000 msnm, (2) Zonas intermedias, que presentan la morfología de terrazas altas junto al río, que varían entre 1000 y 1200 msnm, y, (3) Zonas de elevaciones altas, que varían entre 1200 y 1400 msnm.

Las zonas bajas presentan superficies planas de baja pendiente, diferenciándose de las zonas medias por un cambio de pendiente, cuyas formas son suaves y redondeadas; Las zonas altas presentan sectores muy localizados de alta pendientes, predominando superficies planas y de suaves pendientes.

Figura 2.2: Pendientes de la zona. Leyenda ver en histograma.



Analizando las pendientes de la zona se observa que la gran mayoría se encuentran hacia el oeste y este, lo que confirma el predominio estructural norte sur. El porcentaje de áreas según las pendientes puede observarse en el Cuadro 2.3, y su correspondencia en la Figura 2.3. Se puede observar un predominio de pendientes entre 20 y 30 grados, así como 30 y 40 grados, con 28% y 24% respectivamente, y solo alcanza menos del 5% para pendientes mayores a 50 grados. Esto demuestra la topografía poco accidentada y zonas planas, como puede verse en el relieve del sector (Figura 2.4).

Cuadro 2.3: Área y porcentaje de pendientes del área.

Área	Porcentaje	Pendiente en grados
2430060	15,76	0-10
2649605	17,18	10-20
4296036	27,86	20-30
3699161	23,99	30-40
1660735	10,77	40-50
513628	3,33	50-60
87355	0,57	60-70
24243	0,16	70-80
58179	0,38	80-90
15419002	100	

Fuente: Informe, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

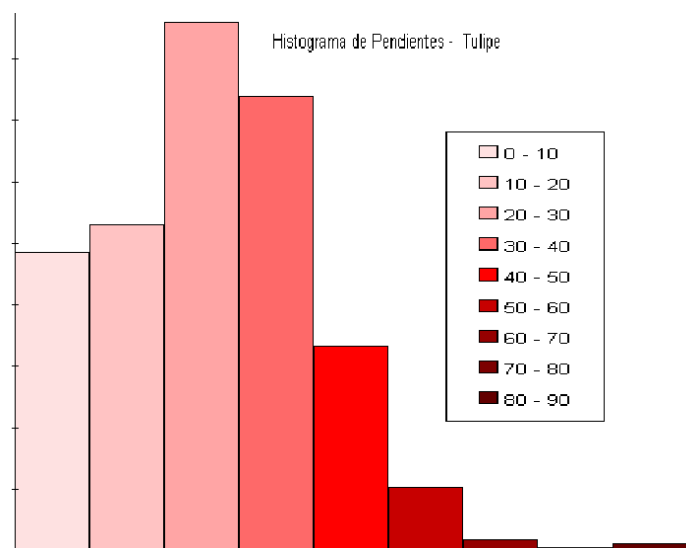
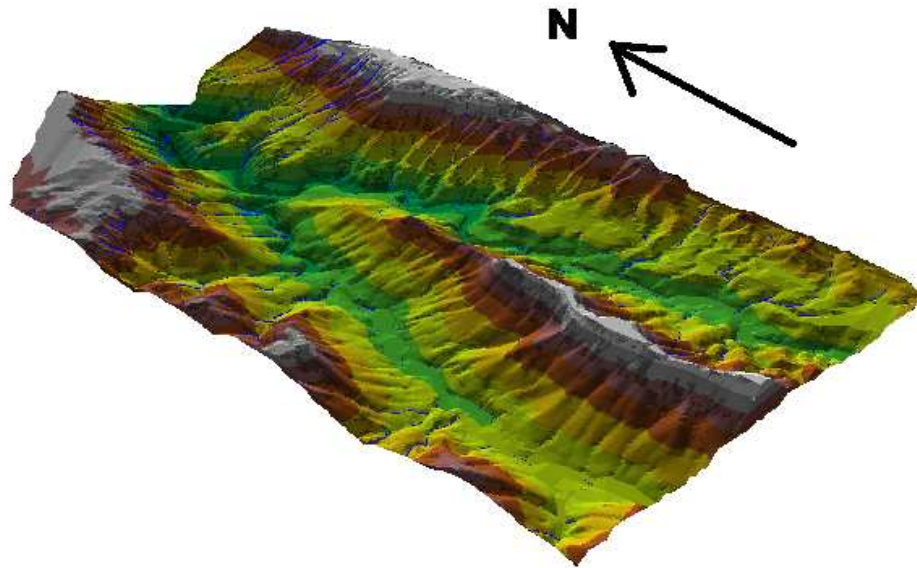
Figura 2.3: Histograma de pendientes, zona de proyecto Tulipe.

Figura 2.4: Relieve de la zona de Proyecto.



2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL⁹

En la zona de estudio se encuentran tres lineamientos principales: (1) falla Toachi, en dirección NE-SO, que limita la zona de cizallamiento Mulaute (Unidad Mulaute) al oeste, (2) contacto fallado en dirección NE-SO entre las unidades Pilatón y Mulaute y, (3) contacto fallado en dirección NE-SO entre las unidades Pilatón y Silante.

Estos lineamientos y la zona de cizalla Mulaute, muestran un claro dominio tectónico en dirección NO-SE.

Se han reconocido además algunos lineamientos, que pueden estar asociados a la zona de fallas que forman los contactos entre las diferentes unidades Mulaute, Pilatón y Silante.

⁹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Geológico. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Los ríos Alambí y Tulipe están dominados estructuralmente en dirección norte sur, siendo las estructuras locales más dominantes.

Se han identificado además lineamiento E-O, en la unión de los dos ríos, y hacia el norte de esta unión, otras pequeñas estructuras que dominan el cauce del mismo, formando cambios de rumbo en 90 grados.

El predominio de las lineaciones en rumbo norte-sur, marcan la característica estructural de la cuenca, que está ligada directamente con las estructuras regionales de la cordillera real en este sector.

2.2.3 GEOLOGÍA¹⁰

El área de estudio está dominada por el Batolito de Apuela - Nanegal, y se encuentra en contacto con rocas metamórficas en el margen izquierdo del río Tulipe. Estas rocas fueron reconocidas y descritas en los informes del INECEL (1977) y se las definió como metamórficas chontal.

Gran parte del área de estudio está cubierta por sedimentos que presentan un aspecto de planicies altas, depositados sobre los paleovalles y subyacendo el batolito, afloran al este del río Alambi, y al norte de la unión del río con el Tulipe.

En la divisoria de aguas entre los ríos Alambi y Tulipe aflora un conglomerado poco compactado sobre el batolito, que se encuentra en las cotas similares a las planicies descritas, y pueden corresponder a eventos simultáneos. En esta misma cuchilla se pueden observar pequeños coluviales cuya matriz corresponde a arenas provenientes de la meteorización del batolito.

¹⁰ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Geológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

2.2.4 ESTRATIGRAFÍA¹¹

- Metamórficos Chontal.- Cubre parte de la margen izquierda del río Tulipe, en contacto con el Batolito Apuela-Nanegal. Corresponde a pizarras de color negro finamente laminadas. Se encuentra suprayacido por depósitos gruesos laharíticos.
- Depósitos Coluviales y laharíticos.- Corresponde a terrazas elevadas que forman planicies altas, al extremo norte de la unión de los ríos Tulipe y Alambi, así como en el margen derecho del río Alambi. Corresponden a depósitos desordenados y poco ordenados, de diferentes eventos que al parecer ocurrieron casi simultáneamente. Estos depósitos se encuentran al mismo nivel topográfico de la formación San Tadeo, que llega a cubrir la cuchilla divisoria de los ríos Alambi y Tulipe. Por lo cual es posible que se encuentren relacionados por un mismo evento.
- Depósitos Aluviales.- Estos son los depósitos más recientes que ha formado terrazas recientes en las riveras del río Tulipe, consiste de cantos métricos a decimétricos, con matriz de arena fina e intercalaciones de arena gruesa, matriz soportados con sorteo malo.
- Batolito de Apuela.- Constituye la mayor parte del área de estudio, aflora en varios sitios de los cortes con ladera a los dos lados del río. Es una cuarzodiorita, geoquímicamente es un granitoide cálcico, mataluminoso de arco volcánico (Mapa Geológico Cordillera Occidental entre 0 y 1 grados norte), y en varios tramos aparece con cierto grado de alteración. Aflora en la base del río Alambi y forma un valle profundo, cerrado, con pendientes altas, después de la unión con el río Tulipe.

¹¹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Geológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

2.3 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CURSO NATURAL

2.3.1 PENDIENTE LONGITUDINAL Y PERFIL

En cauces naturales la pendiente longitudinal se mide a lo largo de la línea del agua, debido a que el fondo no es una buena referencia, tanto por su inestabilidad como por sus irregularidades. La pendiente de la línea del agua varía con la magnitud del caudal, y esa variación es importante cuando se presentan cambios grandes del caudal en tiempos cortos, por ejemplo al paso de crecientes.

2.4 CLIMATOLOGÍA

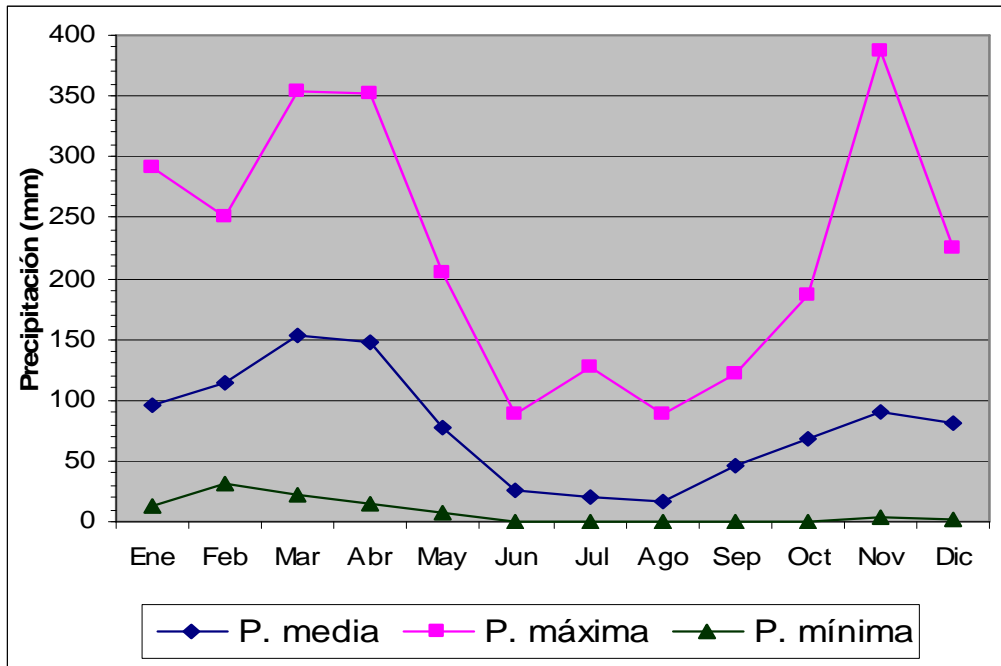
2.4.1 PRECIPITACIÓN¹²

Para lograr una mayor representatividad de la información sobre precipitación se consideró principalmente las estaciones:

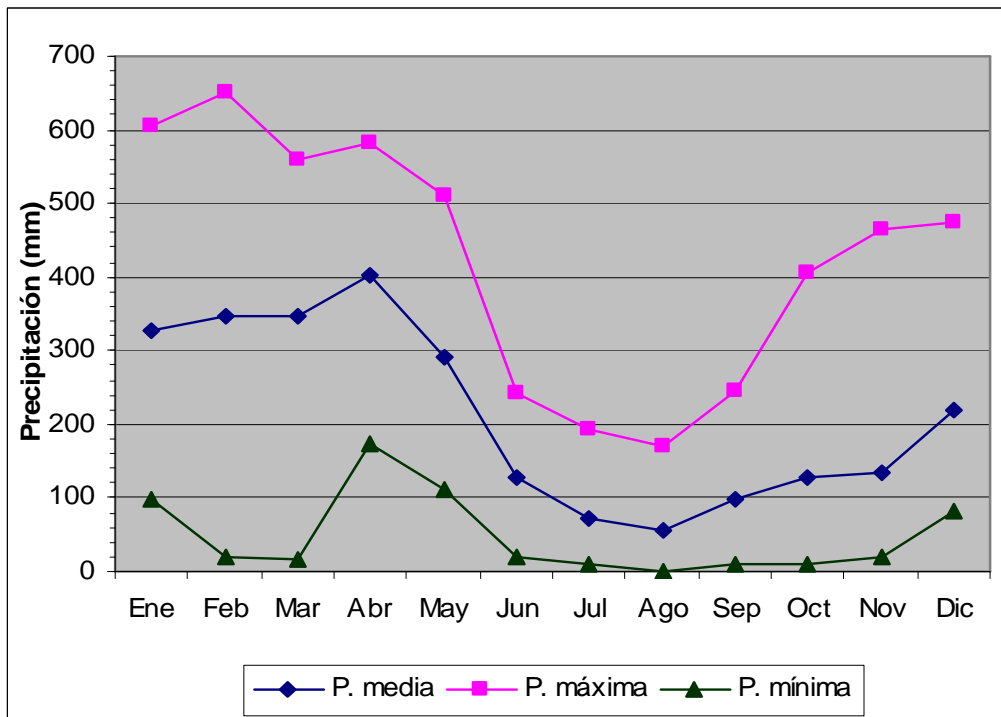
- M339, Nanegalito. Estación representativa de la parte baja de la Cuenca, sitio cercano a las captaciones Tulipe y Alambi del Proyecto.
- M358, Calacalí -INAMHI. Estación referente de las precipitaciones en las zonas altas de la Cuenca de Drenaje.

En los Gráficos 2.1 y 2.2 se muestra la variación estacional de la precipitación: se observa que el período Junio - Septiembre corresponde al de menor precipitación, y que la temporada de lluvias es marcada en el periodo octubre-mayo de cada año.

¹² Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Gráfico 2.1: Variación Estacional de la Precipitación Calacalí INAMHI.

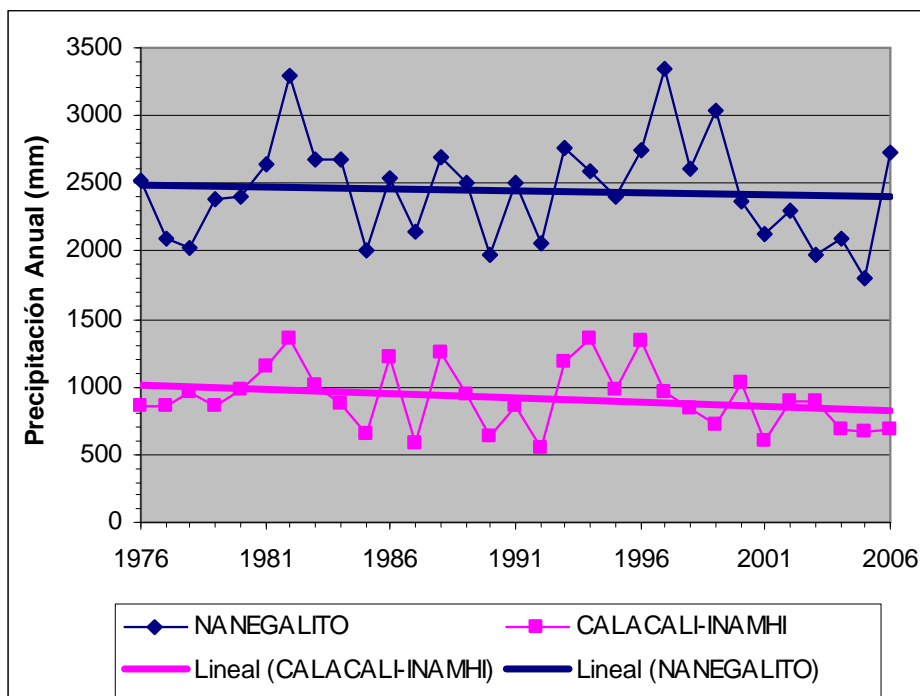
Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 2006.

Gráfico 2.2: Variación Estacional de la Precipitación Nanegalito.

Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 2006.

El Gráfico 2.3, muestra la variación interanual de la precipitación, tratada con valores anuales para las dos estaciones. La tendencia que se presenta es de cierto decrecimiento de las lluvias anuales, principalmente en el período 2001-2006.

Gráfico 2.3: Variación Interanual de la Precipitación.



Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 2006.

En el Cuadro 2.4, se presenta un resumen de las precipitaciones representativas para las estaciones en mención.

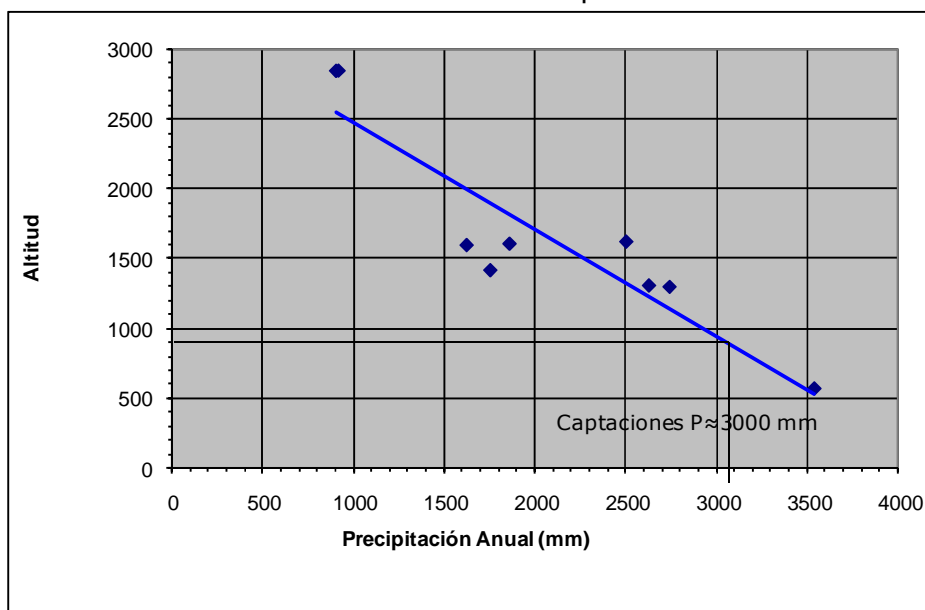
Cuadro 2.4: Precipitaciones Representativas (1976-2006).

ESTACION	PRECIPITACION MENSUAL (mm)			PRECIPITACION ANUAL (mm)		
	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN
NANEGALITO	651	213	0.3	3345	2488	1801
CALACALI-INAMHI	388	78	0.0	1360	917	548

Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 1976-2006.

En el Gráfico 2.3, se destaca la variación de la precipitación con la altitud en valores medios anuales. La tendencia que se aprecia refleja el notable decrecimiento de las lluvias con la cota del terreno, con una gradiente térmica de disminución de 130 mm por cada 100 de incremento de altura, aproximadamente.

Gráfico 2.5: Variación Altitudinal de la Precipitación.



Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 2006.

Con las precipitaciones medias anuales de las estaciones se generó el mapa de isoyetas de precipitación de la zona, considerando el período 1976 – 2006, (ver, Anexo 2- Mapa 4).

2.4.2 TEMPERATURA¹³

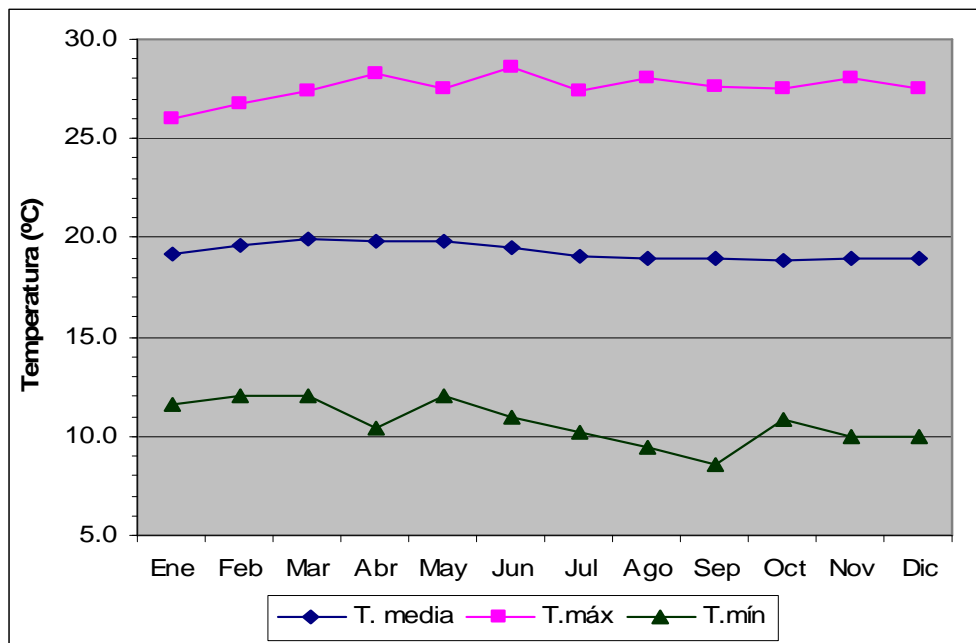
La temperatura se analizó en función de los registros de la estación Meteorológica La Perla (M213), ubicada en las inmediaciones de la captación.

¹³ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

La Figura No. 2.2.9, muestra la variación estacional de la temperatura media, máxima y mínima absoluta. Las máximas temperaturas para este sitio fluctúan entre 26 °C y 30 °C, en tanto que las temperaturas mínimas están en el rango 10 °C - 12 °C. En tanto, la temperatura media al interior del año varía entre 18 °C y 20 °C.

En general se concluye que no existe variación importante de la temperatura al interior del año en la estación (menor a 2°C); mas sí es considerable la variación altitudinal de las temperaturas medias y extremas.

Gráfico 2.5: Variación Estacional de la Temperatura La Perla.



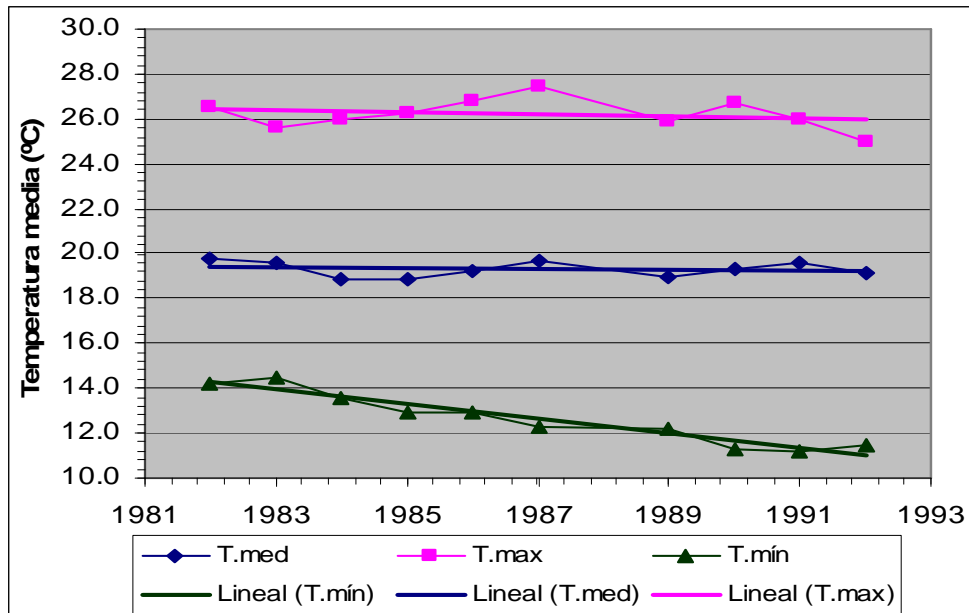
Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 2008.

La distribución interanual de la precipitación es leve, llegando a valores del orden de 1 °C.

En cuanto se refiere a la Temperatura Máxima Absoluta, se destaca que en los últimos años de registro tiende a disminuir a valores menores a los 26 °C, con un pico de aproximadamente 29 °C en el año 1985.

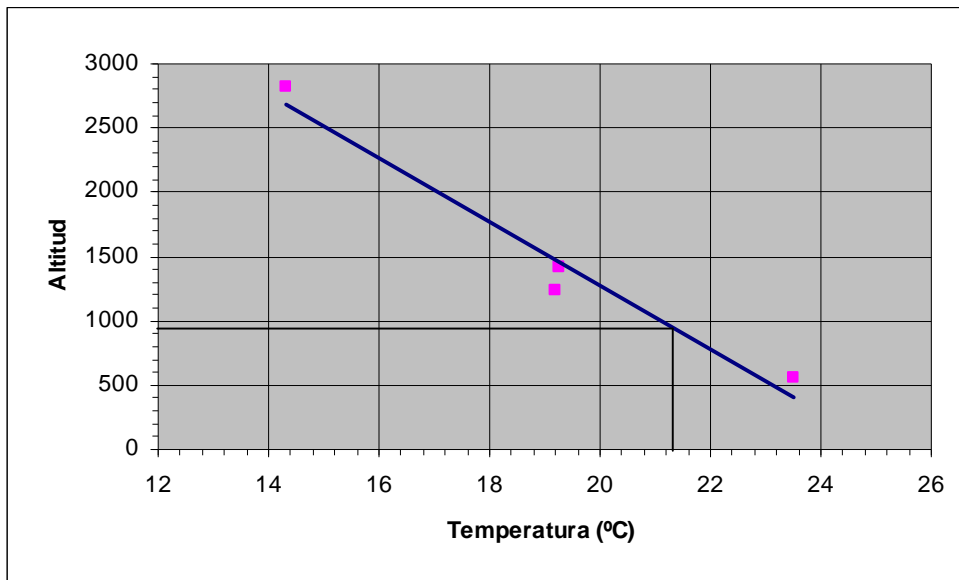
Se destaca el decrecimiento de la Temperatura Mínima Absoluta desde 14 °C hasta los 11 °C, en el período de aproximadamente 20 años.

Gráfico 2.6: Variación Interanual de la Temperatura La Perla.



Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 1981-1993.

En el Gráfico 2.7, se aprecia el gradiente de temperatura respecto a la cota del terreno: la temperatura media decrece en el orden de 0.4°C por cada 100 m de aumento en altura.

Gráfico 2.7: Variación Altitudinal de la Temperatura.

Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 1981-1993.

2.4.3 VIENTOS¹⁴

El viento se produce por el gradiente de temperatura del aire, así la dirección predominante provee indicaciones sobre el desplazamiento de masas de aire, y por ende sobre la concentración de lluvias

¹⁴ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO

3.1 INTRODUCCIÓN

En proyectos hidroenergéticos reviste especial importancia la evaluación de la disponibilidad de agua en las fuentes de aprovechamiento (ríos); se conoce que la variabilidad en la disponibilidad de caudales depende del clima, de las características de las superficies de drenaje, y de modo creciente, del grado y tipo de actividad humana, para lo cual se hace necesario un estudio detallado de las características hidrológicas del lugar del proyecto.

3.1.1 SISTEMA HIDROLÓGICO EN LA CUENCA¹⁵

El sitio de captación en el río Tulipe se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: longitud 78°42.2'W, latitud 0°10.6' N, en la cota 980 m.

La carta topográfica de escala 1: 50.000 del IGM que contiene la captación es Vacas Galindo, además la cuenca hidrográfica se desarrolla en las cartas Río Guayllabamba y Calacalí.

En tanto que el sitio de captación en el río Alambi se ubica geográficamente en las siguientes coordenadas: longitud 78°41.4', latitud 0°10.1' N, cota 920 m.

¹⁵ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

La carta topográfica 1: 50.000 del IGM que contiene la captación Alambi es Vacas Galindo y la cuenca se extiende también en las cartas Calacalí, Nono, El Quinche, San Miguel de los Bancos.

3.1.2 ESTACIONES DISPONIBLES¹⁶

3.1.2.1 Información Climática

Se recopiló información climática de estaciones localizadas tanto al interior de la cuenca, como en sitios cercanos. Las variables consideradas fueron:

- Precipitación mensual acumulada;
- Precipitación máxima en 24 horas, mensual;
- Temperatura media mensual del aire;
- Temperatura máxima absoluta mensual; y,
- Temperatura mínima absoluta mensual;

Las estaciones localizadas al interior o en las inmediaciones de las cuencas en estudio constan en los Cuadros No. 2.3.1 y 2.3.2.

Cuadro 3.1: Estaciones Meteorológicas.

COD.	ESTACION	TIPO	LATITUD				LONGITUD				ELEVACION msnm
			(°)	(')	(")		(°)	(')	(")		
M212	MINDO INECEL	CP	00	02	52	S	78	44	08	W	1235
M213	LA PERLA	CP	00	11	34	N	78	40	10	W	1410
M046	PACHIJAL MASHPI	CP	00	11	22	N	78	57	00	W	0560

Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 1976-2006.

¹⁶ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Cuadro 3.2: Estaciones Pluviométricas.

COD.	ESTACION	TIPO	LATITUD				LONGITUD				ELEVACION msnm
			(°)	(')	(")		(°)	(')	(")		
M339	NANEGALITO	PG	00	03	41	N	78	40	44	W	1615
M361	NONO	PV	00	04	43	S	78	34	19	W	2842
M340	MINDO INAMHI	PV	00	03	01	S	78	46	20	W	1290
M326	SELVA ALEGRE- IMBABURA	PV	00	15	02	N	78	34	24	W	1600
M721	MESA MIRAVALLE(DEL CHONTAL)	PG	00	13	28	N	78	43	52	W	0960
M524	CHONTAL ALTO	PG	00	16	00	N	78	45	00	W	1300
M318	APUELA-INTAG	PV	00	01	29	N	78	30	41	W	1590
M358	CALACALI INAMHI	PV	00	00	11	N	78	30	43	W	2843
M327	CHONTAL BAJO(GUAYLL.DJ ALAMBI)	PV	00	14	01	N	78	44	44	W	0596

Fuente: Anuarios Meteorológicos, INAMHI, 1972-2006.

Las disponibilidad de datos de cada estación varía, incluso dependiendo del tipo de variable evaluada; se consideró como período homogenizada los años (1972 – 2006).

3.1.2.2 Información Hidrológica

La información hidrológica utilizada para efecto del presente estudio, fue la siguiente:

- Precipitación mensual acumulada;
- Niveles máximos y mínimos instantáneos;
- Ecuaciones de las curvas de descarga;
- Caudales medios diarios; y,
- Datos de aforos sólidos;

Las características de las estaciones hidrométricas se detallan en el Cuadro 3.3:

Cuadro 3.3: Estaciones Hidrométricas.

COD.	ESTACION	TIPO	LATITUD				LONGITUD				ELEVACION msnm
			(°)	(')	(")		(°)	(')	(")		
H136	ALAMBI EN CHURUPAMBA	LG	00	09	00	N	78	40	50	W	0920
H150	INTAG DJ PAMPLONA	LG	00	13	20	N	78	37	25	W	1000

Fuente: Anuarios Hidrológicos, INAMHI, 2006.

Tipo LG – estación limnigráfica

Luego de revisada la información de niveles, caudales, aforos y curvas de descarga, y considerando la disponibilidad de datos se estableció el período de análisis: 1965-1998.

3.2 LLUVIA DE DISEÑO OBTENIDA DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

El cálculo de las intensidades máximas se realizó en base al estudio (INAMHI, 1999)¹⁷; el modelo establece relaciones funcionales entre la intensidad máxima, la duración, el período de retorno y la intensidad de precipitación máxima diaria, a través de la relación siguiente:

$$I_{Tr} = a * t^b I_{d,Tr} \quad (3.1)$$

Donde:

I_{Tr} = Intensidad de precipitación máxima, con período de retorno Tr , (años);

A, b = parámetros de la relación, (sin unidades);

T = duración de la precipitación, (min);

¹⁷ INAMHI. (1999), Estudio de Lluvias Intensas, Quito.

T_r = período de retorno, (años); y,

I_d, T_r = intensidad diaria de precipitación, (mm/h).

La cuenca hidrográfica en estudio se localiza en la ladera occidental de la Cordillera Occidental, es decir en la Zona 22, definida por INAMHI para el estudio de las lluvias intensas. Las intensidades máximas diarias (I_d, T_r) se determinan de los mapas correspondientes, en función del período de retorno.

Para la determinación de las intensidades se consideró como punto representativo el centro de gravedad de la cuenca, que tiene coordenadas: 78° 36.35' W; 00° 01.30' N; y 2280 m de altitud.

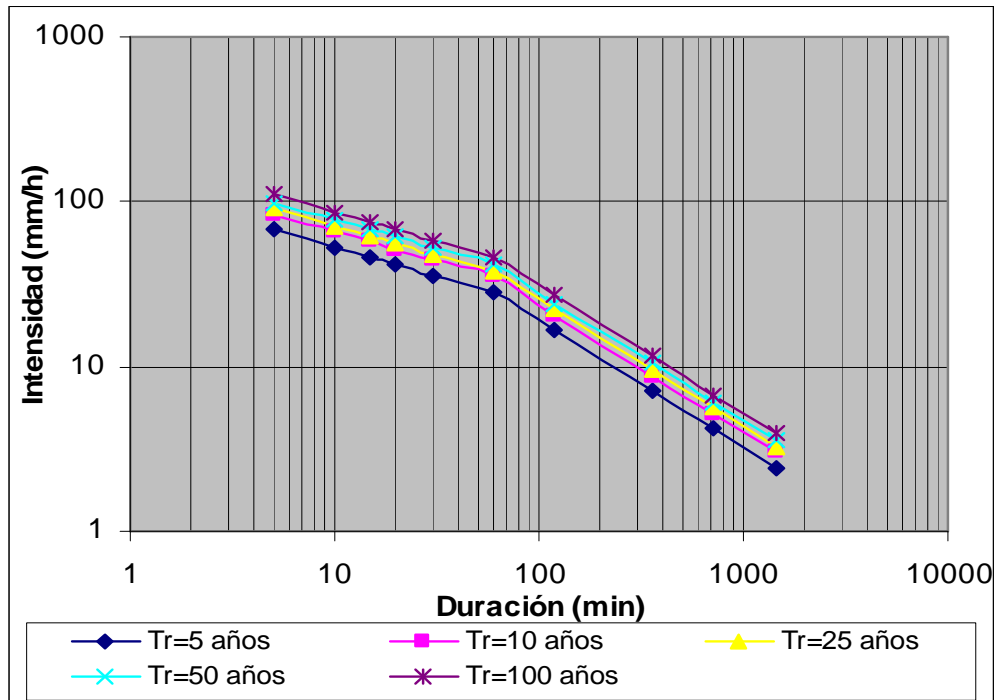
En el Cuadro 3.4, se incluyen los valores de intensidades en función de la duración de la lluvia y el período de retorno.

Cuadro 3.4: Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia.

PERIODO DE RETORNO	INTENSIDADES (mm/h)									
	DURACION (min)									
	5	10	15	20	30	60	120	360	720	1440
5	67.67	52.97	45.90	41.47	35.93	28.13	16.47	7.08	4.16	2.44
10	84.24	65.94	57.14	51.62	44.73	35.01	20.51	8.81	5.17	3.04
25	91.15	71.35	61.83	55.85	48.40	37.88	22.19	9.54	5.60	3.29
50	99.43	77.83	67.45	60.93	52.80	41.33	24.21	10.40	6.11	3.58
100	110.48	86.48	74.94	67.70	58.66	45.92	26.90	11.56	6.79	3.98

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

El Gráfico 3.1, muestra las curvas intensidad, duración y período de retorno (5, 10, 25, 50, 100 años), que son representativas de la cuenca del río Alambi hasta la captación del Proyecto.

Gráfico 3.1: Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia.

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

3.3 TRANSFORMACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA: CONDICIONES GENERALES: LLUVIA NETA Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN ZONA RURAL¹⁸

El tiempo de concentración, o tiempo que se demora una partícula de agua en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta un punto en el cauce del río. El tiempo de concentración es un valor característico de cada cuenca.

Para el caso del Análisis del Aprovechamiento Hidroenergético del río Alambi no se hace necesario dicho estudio ya que en el sitio de captación en los ríos Alambi y Tulipe existen datos de caudales dado que se encuentran las estaciones hidrológicas Alambi en Churupamba (H136) e Intag DJ Pamplona (H150), respectivamente.

¹⁸ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

3.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL EN ZONAS RURALES¹⁹

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Instantáneo Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica.

La fórmula básica del método racional es:

$$Q_p = C.i.A_d \quad (3.2)$$

Donde:

Q_p = Caudal máximo expresado en m³/s

C = Coeficiente de escurrimiento (o coeficiente de escorrentía) ver tabla con valores numéricos en ese artículo principal

i = Intensidad de la precipitación en m/s en un período igual al tiempo de concentración t_c

A_d = Área de la cuenca hidrográfica en m².

Esta fórmula empírica, por su simplicidad, es aun utilizada para el cálculo de alcantarillas, galerías de aguas pluviales, estructuras de drenaje de pequeñas áreas, a pesar de presentar algunos inconvenientes, superados por procedimientos de cálculo más complejos. También se usa en ingeniería de carreteras para el cálculo de caudales vertientes de la cuenca a la carretera, y así poder dimensionar las obras de drenaje necesarias, siempre que la cuenca vertiente tenga un tiempo de concentración no superior a 6 horas.

¹⁹ Linsley R. y Joseph Franzini. (1980), Engenharia de Recursos Hídricos, San Paulo: Edición de la Universidad de San Paulo.

3.5 USO DEL MODELO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA, TIPO HIDRO

El modelo de simulación numérica, tipo HIDRO se lo realiza cuando en el lugar de interés no existen datos hidrológicos de caudal, necesarios para el estudio, tales como caudales medios, máximos. Para el caso del Análisis del Aprovechamiento Hidroenergético del río Alambi no se hace necesario dicho estudio ya que en el sitio de captación en los ríos Alambi y Tulipe existen datos de caudales dado que se encuentran las estaciones hidrológicas Alambi en Churupamba (H136) e Intag DJ Pamplona (H150), respectivamente.

3.6 DEFINICIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO²⁰

El análisis de caudales se sustentó en los datos históricos de la estación hidrométrica Alambi en Churupamba (H136) y se apoyó en los registros de la Intag D.J. Pamplona (H150).

3.6.1 CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS

En base a los registros de Caudales Medios Diarios de las estaciones, se conformó una base de datos para los años 1965-1998. Con déficit de información en varios meses y años.

La metodología que se utilizó para transferir los caudales de la estación a los sitios de interés, en este caso las captaciones Tulipe y Alambi, fue aplicar el principio de proporcionalidad de áreas.

²⁰ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

En el Anexo 3A del “Estudio de Prefactibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Tulipe” se muestran las tablas de caudales medios diarios para la estación Alambi en Churupamba; en tanto que en el Anexo 3B del mismo, se incluyen los caudales medios diarios para la captación en el Río Alambi, en el Anexo 3C se incluye los caudales medios diarios para la captación en el río Tulipe. Se incluyen también las series de caudales medios mensuales para el periodo 1965 – 1998.

3.6.2 CAUDALES MÁXIMOS

Para la determinación de los caudales de crecida se conformó una base de datos de caudales máximos instantáneos anuales para la estación hidrométrica Alambi en Churupamba. Estos datos se incluyen en el Anexo 3D del “Estudio de Prefactibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Tulipe”.

A la serie se aplicó el método estadístico – probabilístico para la estimación de los caudales máximos con período de retorno dado. Por la limitada calidad de los registros disponibles, se consideró necesario incorporar el concepto de intervalo de confianza; para el efecto se determinó los caudales máximos con nivel de significación del 90 % (5 de excedencia a cada lado), cuyos valores se incluyen en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5: Caudales Instantáneos de Máxima Crecida para la estación río Alambi en Churupamba, con 90 % de confianza.

Período de Retorno (años)	CAUDAL MAXIMO Q _{máx} (m ³ /s)
5	312.3
10	339.8
25	390.8
50	424.8
100	469.3

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Usando el concepto de proporcionalidad de áreas de drenaje se calculó los caudales máximos para los sitios de captación Tulipe y captación Alambi.

Cuadro 3.6: Caudales de Máxima Crecida para los Sitios de Captación.

Período de Retorno (años)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s) Captación Alambi	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s) Captación Tulipe
5	319.6	52.1
10	347.7	56.7
25	399.9	65.2
50	434.6	70.9
100	480.2	78.3

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

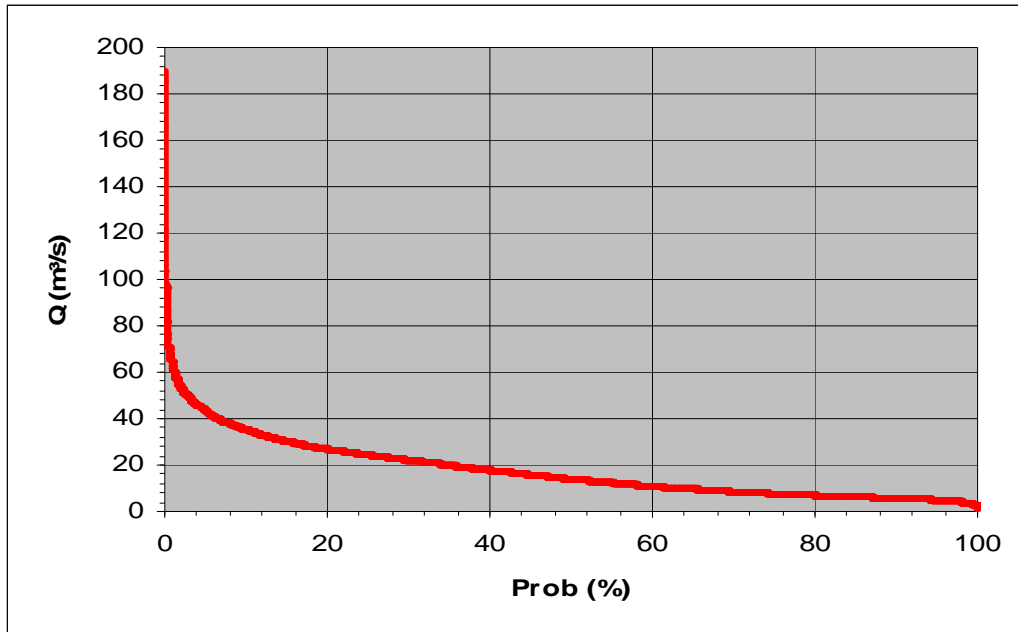
3.7 DETERMINACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN GENERAL²¹

La curva de duración general (CDG) se determinó para la captación en el río Alambi y para la captación en el río Tulipe y se presenta como Gráficos 3.2 y 3.3, respectivamente. Las CDG obtenidas para las estaciones hidrométricas constan en el Anexo 3C del “Estudio de Prefactibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Tulipe”.

Las coordenadas de las CDG generadas con caudales medios diarios específicos de Alambi en Churupamba e Intag en Pamplona se compararon, observando que guardan similitud en el rango de caudales entre el 50 % y el 90 % de probabilidad de excedencia.

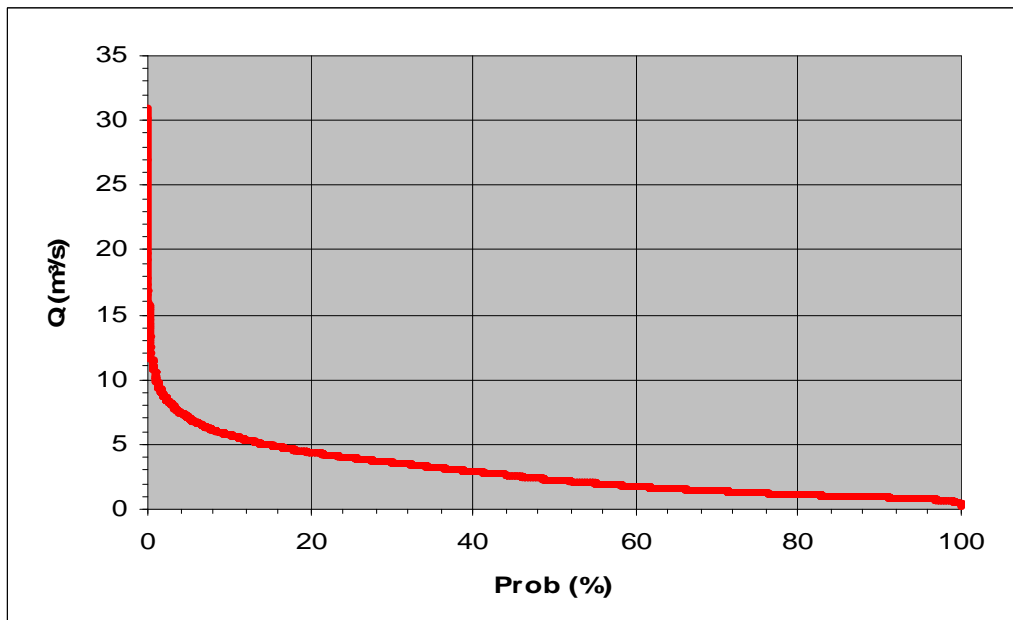
²¹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Gráfico 3.2: Curva de Duración General Río Alambi, Captación.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Gráfico 3.3: Curva de Duración General Río Tulipe, Captación.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

En el Cuadro 3.7, se presentan los caudales naturales característicos para los sitios de Captación del Proyecto Tulipe (Captación Tulipe y Captación Alambi)

para las distintas probabilidades consideradas, tomados de la CDG correspondiente.

Cuadro 3.7: Caudales Naturales para los sitios de Captación.

PROBABILIDAD %	CAUDAL NATURAL (m ³ /s) Captación Tulipe	CAUDAL NATURAL (m ³ /s) Captación Alambi
10.0	5.75	35.30
20.0	4.39	26.91
30.0	3.60	22.10
40.0	2.90	17.80
50.0	2.25	13.81
60.0	1.77	10.85
70.0	1.38	8.49
80.0	1.12	6.86
90.0	0.90	5.52
95.0	0.78	4.81
100.0	0.20	1.23
Caudal Medio (m³/s)	2.92	17.90

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

3.8 SELECCIÓN DEL CAUDAL CON GARANTÍA DEL 95%²²

El Caudal Ecológico entendido como el volumen de agua en el tiempo que no debe ser derivado, sino mantenido en el cauce, se determinó considerando el 10% del caudal medio anual determinado para la toma. Este criterio es ampliamente aceptado para el diseño de Obras de Generación Hidroeléctrica.

²² Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Hidrológico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

En el Cuadro 3.8, se presentan los caudales disponibles para la captación Tulipe del Proyecto - Central Hidroeléctrica Tulipa, con probabilidades determinadas de excedencia, restando ya los usos consuntivos y el caudal ecológico. De igual forma, en el Cuadro 3.9, se presentan para la captación Alambi.

Cuadro 3.8: Caudales Disponibles para Captación Tulipe.

CAUDALES DISPONIBLES				
PROBABILIDAD %	CAUDAL NATURAL (m³/s)	USO CONSUNTIVO (m³/s)	CAUDAL ECOLOGICO ec (m³/s)	CAUDAL DISPONIBLE (m³/s)
10.0	5.75	0	0.29	5.46
20.0	4.39	0	0.29	4.10
30.0	3.60	0	0.29	3.31
40.0	2.90	0	0.29	2.61
50.0	2.25	0	0.29	1.96
60.0	1.77	0	0.29	1.48
70.0	1.38	0	0.29	1.09
80.0	1.12	0	0.29	0.83
90.0	0.90	0	0.29	0.61
95.0	0.78	0	0.29	0.49
100.0	0.20	0	0.29	0.00
	Caudal Medio	2.92	m ³ /s	

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Cuadro 3.9: Caudales Disponibles para Captación Alambi.

CAUDALES CARACTERÍSTICOS				
PROBABILIDAD %	CAUDAL NATURAL (m³/s)	USO CONSUNTIVO (m³/s)	CAUDAL ECOLOGICO ec (m³/s)	CAUDAL DISPONIBLE (m³/s)
10.0	35.30	0.204	1.79	33.30
20.0	26.91	0.204	1.79	24.91
30.0	22.10	0.204	1.79	20.11
40.0	17.80	0.204	1.79	15.81
50.0	13.81	0.204	1.79	11.82
60.0	10.85	0.204	1.79	8.85
70.0	8.49	0.204	1.79	6.50
80.0	6.86	0.204	1.79	4.86
90.0	5.52	0.204	1.79	3.53
95.0	4.81	0.204	1.79	2.81
100.0	1.23	0.204	1.79	0.00
Caudal Medio		17.90	m ³ /s	

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

4.1 ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA:

La evaluación de los sedimentos en suspensión se realizó con datos de campo para el río Alambi en Churupamba, y a partir de relaciones entre caudales líquidos y sólidos, válidas la una, para el período lluvioso, y la otra, para el estiaje. Así se tienen las siguientes relaciones funcionales:

Para el período lluvioso (enero – junio):

$$Q_s = 0.00011 * Q_l^{3.2894} \quad (4.1)$$

Para período seco del año (julio – diciembre):

$$Q_s = 0.0011 * Q_l^{3.1275} \quad (4.2)$$

Q_s = Caudal sólido en suspensión, (kg/s); y,

Q_l = Caudal líquido, (m³/s).

4.2 ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE FONDO EN EL CURSO NATURAL:

En base a recomendaciones de estudios para la zona, se consideró la carga de arrastre igual al 50 % del transporte de sedimentos en suspensión.

4.3 ANÁLISIS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN EN EL CURSO NATURAL:

En el Cuadro 4.1, se presenta la carga de sedimentos en suspensión estimada para la estación hidrométrica río Alambi en Churupamba:

Cuadro 4.1: Sólidos Totales, Río Alambi en Churupamba.

TON/AÑO	MAXIMO(T/año)	MEDIO(T/año)	MINIMO(T/año)
Sólidos en suspensión Río Alambi en Churupamba	732497.4	149360.5	47577.0
Sólidos de fondo Río Alambi en Churupamba	366248.71	74680.23	23788.49
TOTAL SÓLIDOS (ton/año)	1098746.1	224040.7	71365.5

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Los sólidos totales para los sitios de captación (ver Cuadro 4.2) se determinaron utilizando el modelo de proporcionalidad de áreas de drenaje entre las cuencas consideradas.

Cuadro 4.2: Sólidos Totales para los sitios de Captación.

RIO, SECCION	AREA DE DENAJE	SEDIMENTOS EN SUSPENSION	SEDIMENTOS DE ARRASTRE	PRODUCCION TOTAL
	(km ²)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)
Alambi en Churupamba	442.0	149360	74680	224040
Alambi, Captación	452.2	152807	76403	229210
Tulipe, Captación	73.7	25479	12740	38219

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

CAPITULO 5

DISEÑO BÁSICO HIDRAÚLICO Y ESTRUCTURAL

5.1 CAPTACIÓN DE AGUA:

Una obra de captación debe garantizar el ingreso del caudal de diseño en toda época del año; es importante que minimice el ingreso de material sólido y flotante hacia la conducción del proyecto, que facilite además el tránsito de los caudales de crecida, así como que ofrezca siempre el menor impacto al medio ambiente²³.

Para el presente estudio se debió realizar el diseño de las obras de captación en los ríos Alambi y Tulipe, los cuales forman parte del sistema de la Central Hidroeléctrica Tulipe.

Si se considera que:

- Las características morfológicas del río Alambi en el tramo de captación condicionan una toma con rejilla de fondo, apropiada para ríos con pendientes relativamente fuertes, en donde se presentan avenidas súbitas durante las que se arrastra gran cantidad de material grueso.

²³ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.



Foto 5.1: Zona de la captación en el río Alambi.

- De igual modo para el río Tulipe se reconoce que la mejor opción es una toma con rejilla de fondo.

En el sitio seleccionado para la implantación de la toma, la sección transversal del río Tulipe es regular, con un ancho de 16 m. En la Foto 5.1, se observan las características de la sección, la calidad de agua que circula por el río, así como la presencia en el fondo del cauce de material relativamente grueso.

Las características observadas corresponden a la época en que circulan caudales normales. Durante las crecidas el incremento de caudal así como la pendiente del cauce permiten el arrastre de material sólido, principalmente arenas y cantos rodados de tamaño medio.

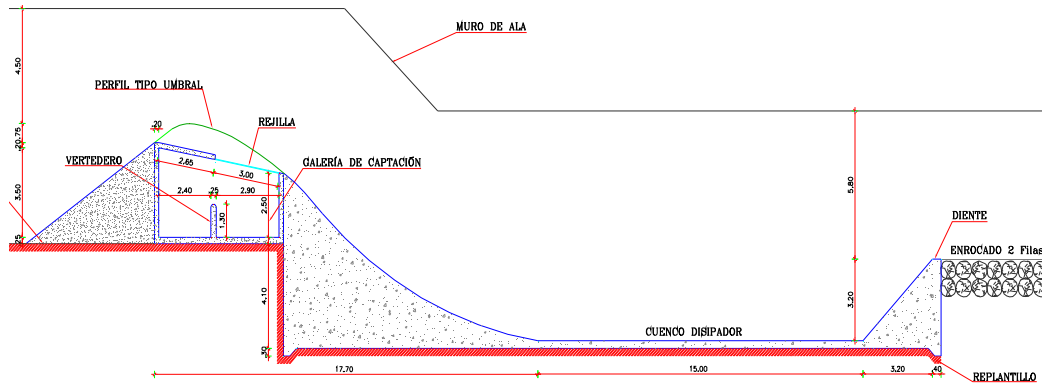


Foto 5.2: Zona de captación del proyecto en el río Tulipe.

En la Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, se presenta los esquemas del tipo de obra de toma.

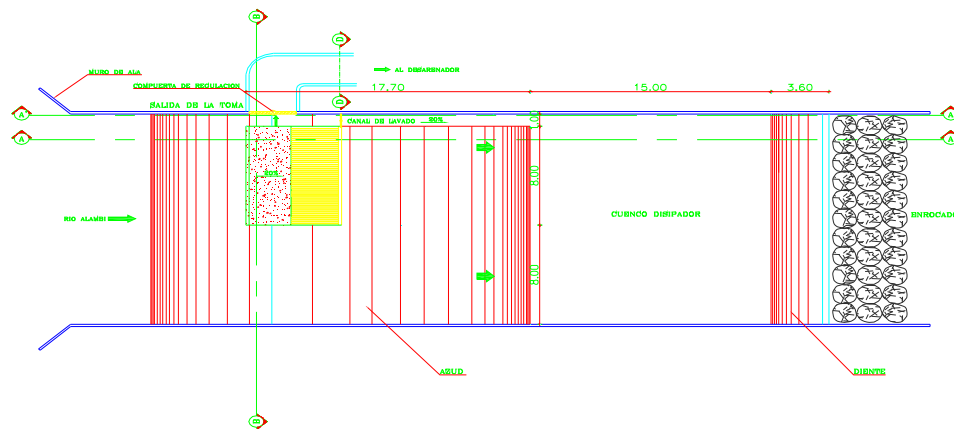
Se observa que, en términos generales, corresponde a una estructura plana y baja por lo que su impacto en el tramo de implantación y zonas vecinas es mínimo. La captación de agua es natural y directa en la solera y puede efectuarse aún para caudales mínimos. De igual manera, requiere de gastos mínimos en la operación y mantenimiento, por lo que este tipo de obra es especialmente adecuado cuando su implantación se realiza en zonas alejadas o de difícil acceso.

Figura 5.1: Corte longitudinal de la Bocatoma en el Río Alambi.



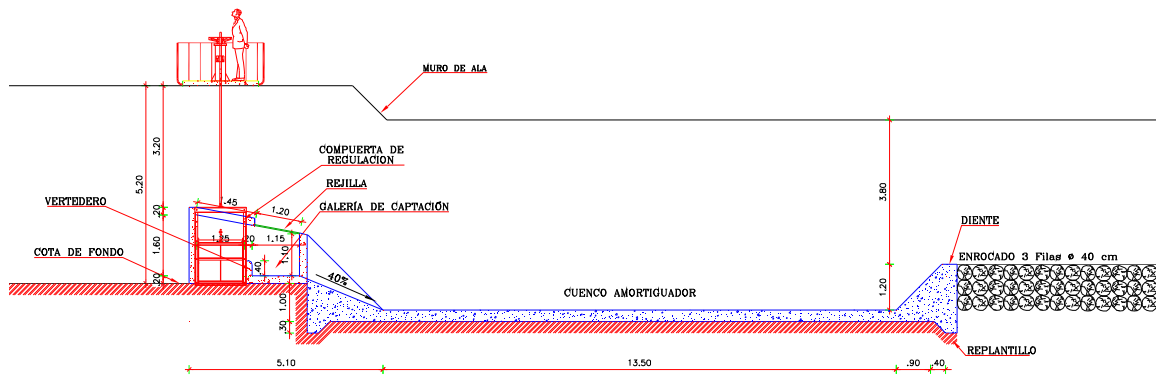
Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Figura 5.2: Planta de la Bocatoma en el Río Alambi.



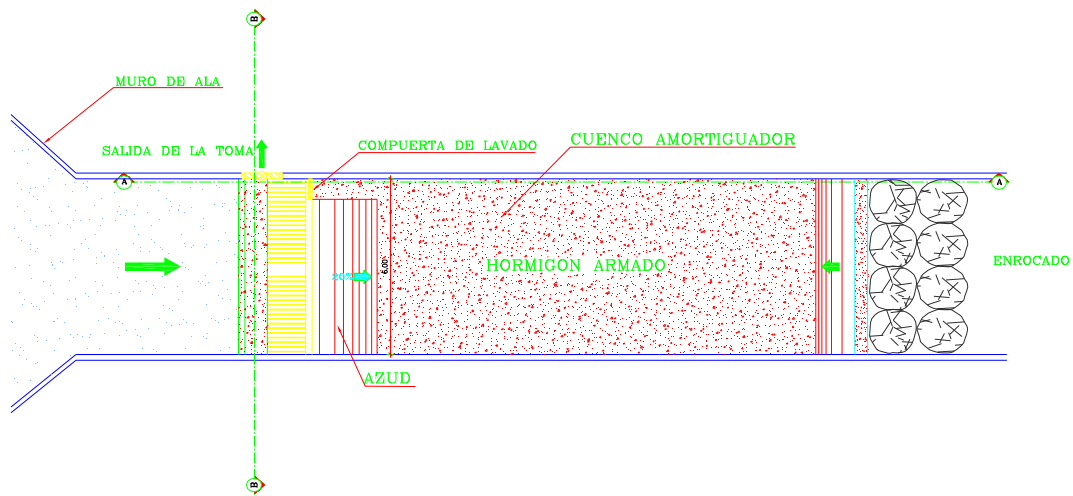
Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Figura 5.3: Corte longitudinal de la Bocatoma en el Río Tulipe.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Figura 5.4: Planta de la Bocatoma en el Río Alambi.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

5.1.1 AZUD

El azud es un dique que cierra el cauce del río, obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a pasar a la conducción. Para caudales máximos, las aguas en exceso pasan por encima del dique, como un vertedero, denominándose azud.²⁴

En el caso del río Alambi, los tramos laterales están conformados por azudes macizos, anclados en las márgenes del curso natural. La geometría de la cresta corresponde al diseño de un umbral de fondo, cuando la altura de la estructura es del mismo orden que la profundidad de agua para el caudal de diseño. En el diseño se toma en cuenta un caudal de crecida de 260 m³/s, del estudio hidrológico, consideraciones respecto de la cuenca de aporte así como de la forma y dimensiones de la sección transversal del río.

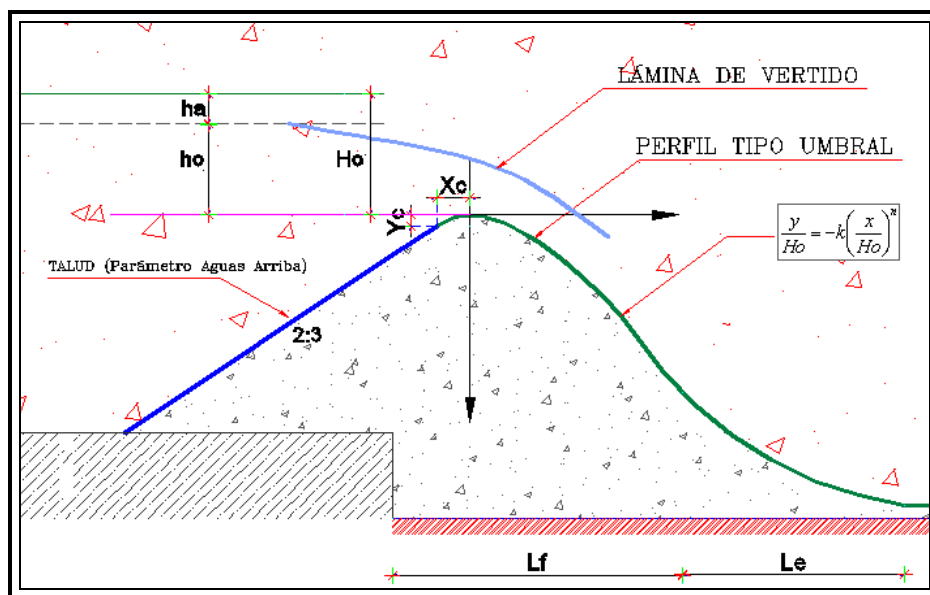
El azud de la bocatoma en el río Tulipe está compuesto por tres tramos, cuyo dimensionamiento geométrico básico se indica en la figura y sigue los lineamientos básicos expuestos anteriormente para la captación en el río Alambi.

²⁴ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

En el diseño se toma cuenta un caudal de crecida de 62.0 m³/s, considerando la cuenca de aporte así como la forma y dimensiones de la sección transversal del río. La Figura 5.5, presenta un corte del tipo de azud a utilizar.

En la metodología aplicada para el cálculo de perfil hidrodinámico con la forma de la lámina vertiente²⁵, se considero para el diseño un caudal equivalente a los dos tercios del caudal de máxima crecida.

Figura 5.5: Perfil Tipo Umbral



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

5.1.2 ORIFICIO DE DERIVACIÓN

El orificio de derivación o toma de agua, es una ventana con una reja en el muro de ala que impide el ingreso de material sólido flotante grueso, ubicada aguas arriba del azud en una de las márgenes del cauce.²⁶

²⁵ Bureau of Reclamation, DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS, 2008.

²⁶ Reinoso A. (2005), Estudio de Prefactibilidad de una Microcentral Hidroeléctrica, Quito.

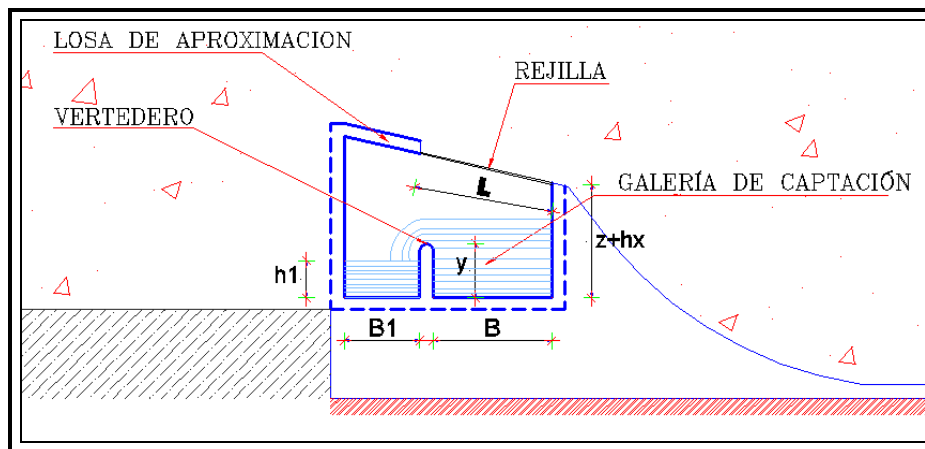
Esta obra de toma está conformada por una rejilla dispuesta en toda la sección del río, para la cual se ha definido una separación de 5 cm. entre barrotes, con una pendiente longitudinal del 21% en el sentido de flujo. Esta rejilla permite el ingreso del agua hacia la galería de recolección hecha en el cuerpo del azud, el mismo que se conecta con el canal de salida de la toma y conduce las aguas captadas hacia el desarenador.

5.1.3 DESRIPIADOR

Es la obra que capta el caudal de diseño para llevarlo hacia el canal de conducción, y, principalmente recoge el material grueso que se deposita frente a la obra de toma, ya que por lo general, el material sólido acumulado reduce el caudal de captación.²⁷

En este caso el desripiador se encontrará dentro de las galerías de la toma de fondo las cuales serán diseñadas para que pueda retener cierta cantidad de sólidos de cierto diámetro en la primera galería, en la Figura 5.6 se muestra un corte de la galería de captación donde se encuentra el desripiador:

Figura 5.6: Galería de Captación.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

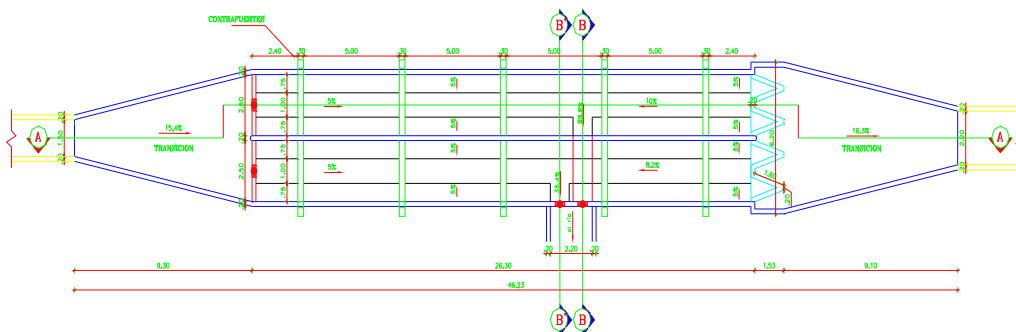
²⁷ Reinoso A. (2005), Estudio de Prefactibilidad de una Microcentral Hidroeléctrica, Quito.

5.1.4 DESARENADOR²⁸

Esta estructura hidráulica tiene como objetivo separar y remover el material sólido captado junto al caudal líquido y que es derivado desde la bocatoma. La estructura debe retener material sólido con tamaños iguales o mayores a 0.20 mm, de tal manera de garantizar la vida útil prevista para la tubería de presión y las turbinas. Este requerimiento técnico corresponde a la normativa común del dimensionamiento hidráulico de centrales hidroeléctricas. El material sólido de menor tamaño, si es que no es abrasivo, puede transitar a lo largo de todo el sistema.

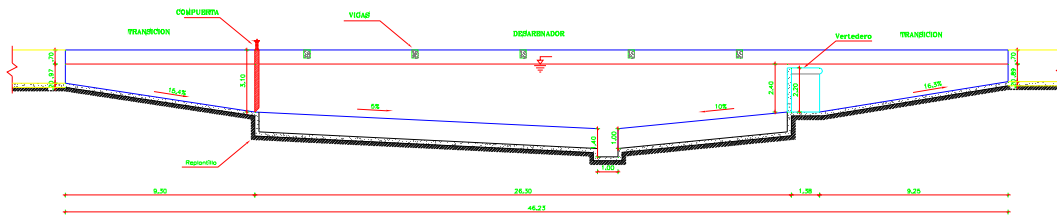
En el proyecto se han previsto dos desarenadores de lavado intermitente: de triple cámara, el primero, inmediatamente aguas abajo de la captación en el río Alambi y de doble cámara, aguas abajo de la captación en el río Tulipe. Se llama la atención en la posibilidad de eliminar el desarenador luego de la captación en el río Alambi, en el caso de que se construya antes el proyecto Palmira. Las aguas captadas serían entonces aguas turbinadas, con una mínima carga de sedimentos. No obstante, dado el nivel de prefactibilidad del estudio, se mantiene el desarenador luego de la derivación de agua desde el río Alambi.

Figura 5.7: Vista en Planta y Corte longitudinal del desarenador en el río Tulipe.



²⁸ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Figura 5.7: Continuación.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

En un desarenador para cumplir su función debe existir una transición de entrada, la cual sirve para unir el canal de conducción desde la toma con el desarenador. Si se considera que la eficiencia de la desarenación depende de las características del flujo al interior de las cámaras desarenadoras, se prevé una transición gradual, relativamente larga. De este modo, en régimen subcrítico, se puede garantizar un flujo con velocidad uniformemente distribuida a todo lo ancho del desarenador.

El ancho del canal de conducción desde la toma, ubicado en la margen izquierda del río Alambi es de 4 m y el ancho total del desarenador de triple cámara es de 16.20 m. La transición tiene entonces una longitud total de 29.80 m; sus paredes se implantan con doble curvatura para dar lugar a la distribución uniforme de velocidades en planta y sobre la vertical. El ángulo de ampliación gradual previsto en esta transición es de 12.5°

El ancho del canal de conducción desde la toma, ubicado en la margen izquierda del río Tulipe es de 1.50 m y el ancho total del desarenador de doble cámara es de 5.60 m. La transición tiene una longitud total de 9.30 m y su configuración geométrica sigue idénticos lineamientos mencionados en el caso del desarenador anterior. El ángulo de ampliación gradual previsto en la transición es de 12.4° .

5.1.5 VERTEDERO DE EXCESOS²⁹

La salida del caudal desarenado se realiza sobre un vertedero en laberinto, con cresta semicircular, que se desarrolla sobre la sección transversal final de las cámaras. La longitud efectiva de vertido, para el desarenador en el río Alambi es de 25.24 m mientras que para el desarenador en el río Tulipe es de 6.06 m.

El vertedero de salida del desarenador en el río Alambi descarga en la transición de arranque de la conducción. Esta transición une el desarenador a la conducción en túnel tipo baúl. En el caso del desarenador de las aguas del río Tulipe, une a la conducción en canal de sección trapezoidal.

5.1.6 CANAL DE LIMPIEZA³⁰

El canal de limpieza debe garantizar la salida y arrastre del material sólido evacuado desde cada uno de los desarenadores hasta el cuerpo receptor previsto para su descarga.

El canal de limpieza, que regresa el sedimento al río Alambi, se inicia en la sección donde se ha dispuesto las tres compuertas de lavado del desarenador, éste tiene una sección transversal rectangular de 4.90 m de ancho y altura variable, entre 1.60 m y 0.80 m, en su descarga en el cuerpo receptor y una longitud de 70.25 m.

El canal de limpieza, que regresa el sedimento al río Tulipe, se inicia en la sección donde se ha dispuesto las dos compuertas de lavado del desarenador, éste tiene una sección transversal rectangular de 2.60 m de ancho y altura variable, entre 1.20 m y 0.80 m, en su descarga en el cuerpo receptor y una longitud de 10.60 m.

²⁹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

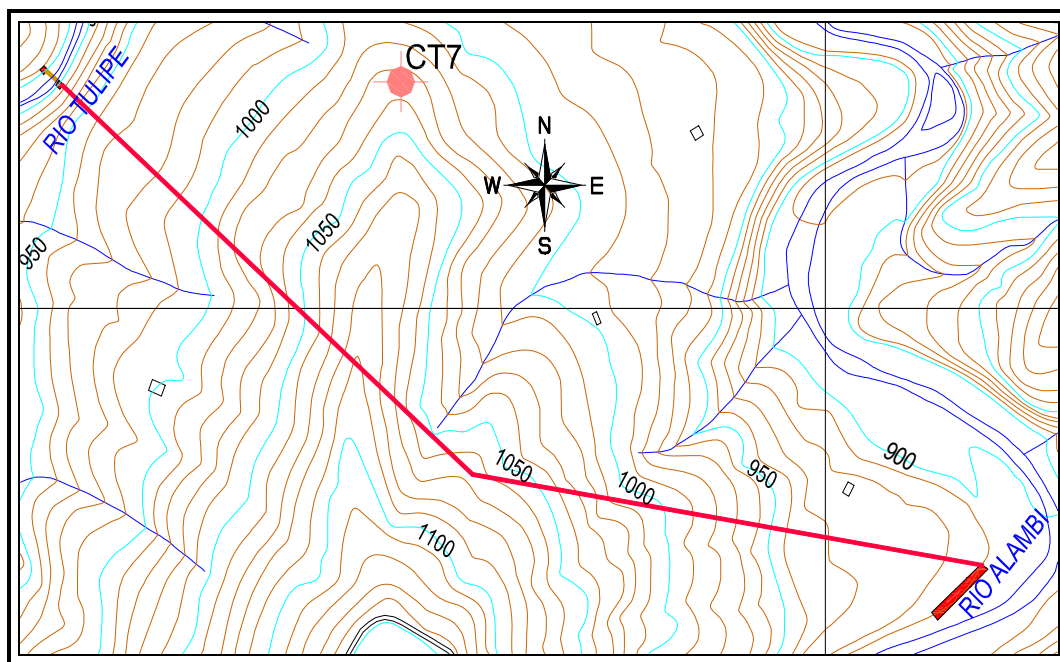
³⁰ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Para garantizar el arrastre del material sólido, estos canales tienen una pendiente longitudinal del 2.0% durante toda su longitud.

5.2 OBRAS DE ADUCCIÓN:

Son las obras que transportan el agua desde la toma hasta el tanque de presión. Para el proyecto de la Central Hidroeléctrica Tulipe se plantea el trazado de la conducción según el siguiente esquema:

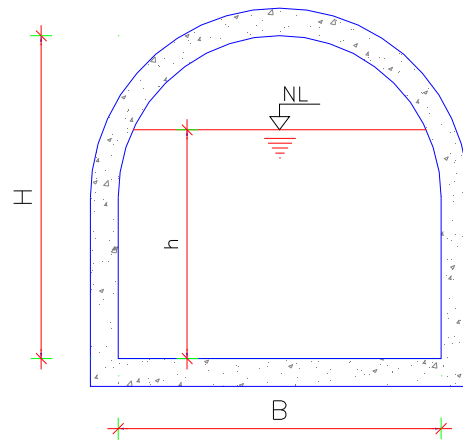
Figura 5.8: Esquema del trazado del túnel de trasvase desde el Río Alambi hasta el paso subfluvial en el Río Tulipe.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Desde el desarenador en la captación del río Alambi, hasta el río Tulipe debe desarrollarse la conducción en túnel.

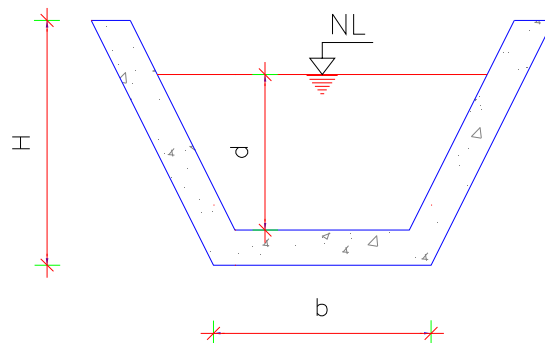
Figura 5.9: Sección transversal del túnel



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Desde la captación en el río Tulipe hasta el sitio del tanque de carga, en la margen izquierda del río Tulipe, se debe desarrollar la conducción en canal con flujo a superficie libre.

Figura 5.10: Sección transversal del canal.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

En el trazado de la conducción superficial a gravedad existen adicionalmente 13 cruces de quebradas que deben ser salvadas con pasos subfluviales, en los que se requieren los respectivos tanques de carga, tanques de llegada y sifones, además de 3 vertederos de excesos que tendrán su rápida de evacuación hasta llegar al cauce natural. Finalmente se requiere construir una vía de mantenimiento junto al canal, la misma que será lastrada con un ancho de 4.50 m.

5.3 TANQUE DE CARGA:

El tanque de carga cumple con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la conexión necesaria entre la tubería de presión y las obras de derivación.
- Garantizar un volumen de reserva de agua para satisfacer las necesidades de la turbina.

El volumen necesario que el tanque de presión debe tener por encima del nivel mínimo aceptable de agua se lo define a base de la siguiente expresión³¹ :

$$\Delta M = \frac{0,693 A V_0^2}{i g} \quad (5.1)$$

Donde:

ΔM es el volumen de retención requerido en el tanque de presión (m³)

A es la sección transversal del canal de aducción, (10.10m²)

V_0 es la velocidad media de flujo en el canal de aducción, (1.11m/s)

i es la pendiente longitudinal del canal, (0,005)

- Impedir el ingreso hacia la tubería de presión de materiales sólidos o flotantes
- Mantener sobre el inicio de la tubería de presión una altura de agua suficiente para evitar el ingreso de aire, para lo cual se define un nivel mínimo de operación. Atendiendo a las recomendaciones existentes en la literatura técnica³² existen algunos criterios para definir esta altura de sumergencia mínima que no permite el ingreso de aire a la tubería:

³¹ Krochin S. (1980), Diseño Hidráulico, Quito: Edición de la EPN.

³² Knauss J. (1987), Hydraulic Design Considerations- IAHR- Hydraulic Structures Design Manual, Vol. 1, Balkema Rotterdam.

- a) En función de la carga de velocidad en la tubería:

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad (5.2)$$

Donde:

h es la altura de sumergencia mínima (m)

K es un factor, que en la práctica varía entre 2 y 3, siempre que $h > 1\text{m}$

V es la velocidad del flujo en la tubería de presión (m/s), y

g es la aceleración de la gravedad (m²/s)

- b) En función de la velocidad del flujo en la tubería y el diámetro de la misma

$$h > 0,5D \left(\frac{V}{\sqrt{2D}} \right)^{0,55} \quad (5.3)$$

Figura 5.11: Vista en planta y corte del Tanque de Presión.

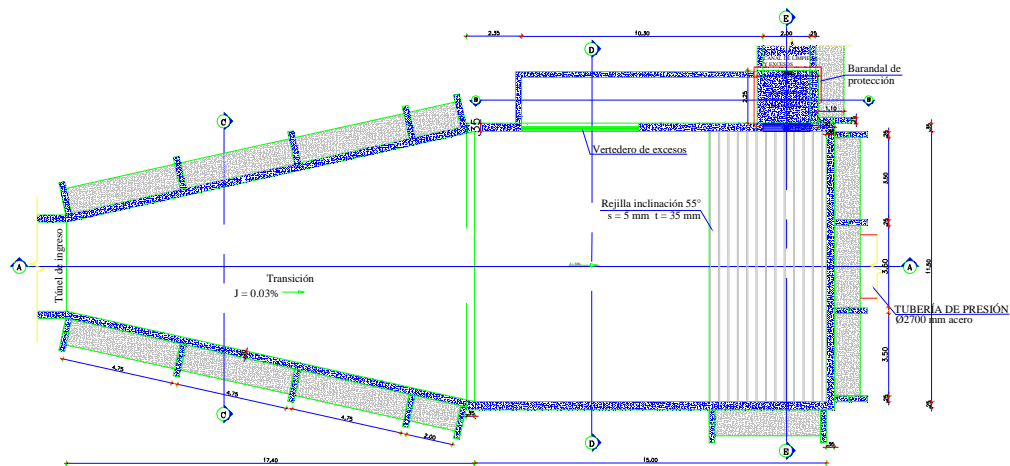
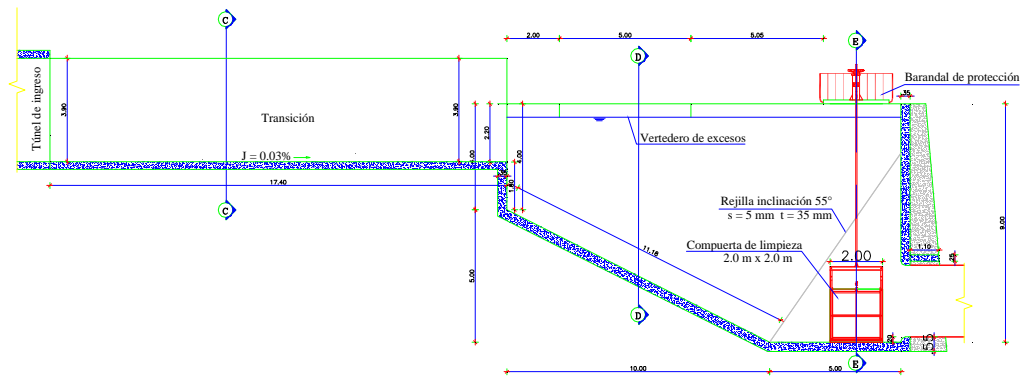


Figura 5.11: Continuación.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

5.4 TUBERÍA DE PRESIÓN Y ANCLAJES:

La tubería de presión es el elemento que permite la conducción del agua desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas.

Para el proyecto se define que la longitud total de la tubería es de 230 m, desde el tanque de presión hasta el ingreso a la casa de máquinas, inmediatamente aguas arriba de la válvula de entrada. La tubería será colocada en una zanja somera con recubrimientos mayores a 1 m. La tubería será apoyada directamente en el suelo y será anclada en puntos fijos en toda su longitud. En el tramo final de la tubería de presión, antes de su ingreso a la casa de máquinas, ésta se colocará aérea, apoyada sobre bloques a 0,50 m del suelo natural.

El diámetro seleccionado para la tubería de presión ha sido determinado a base de un análisis técnico-económico. Mientras mayor es el diámetro, menores son las pérdidas hidráulicas que se generan en la tubería y mayor es la potencia que se puede obtener del salto, pues se tiene que:

$$P = \frac{Q(H - h_f)e}{102} \quad (5.4)$$

Donde:

P es la potencia generada, (kW)

Q es el caudal turbinado, (m³/s)

H es la altura bruta de la caída (m)

hf es la pérdida hidráulica, (m)

e es la eficiencia

Para la estimación del costo de la tubería se calcula el valor de las anualidades de amortización, en función del costo inicial C, del interés expresado en tanto por uno r, y del número de años en que se paga la deuda, n. La expresión que permite obtener el valor de estas anualidades de amortización es la siguiente:

$$a = \frac{C r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (5.5)$$

Con el fin de realizar el análisis comparativo, se tomarán valores referenciales para el factor de carga, eficiencia de la planta y costo de la energía. Estos valores no necesariamente coinciden con los reales, pues en la mayoría de los casos éstos son variables.

Como una primera aproximación para la estimación del diámetro de la tubería se aplica la expresión propuesta por Mannesman Röhre Werke GmbH, para alturas de caída bruta del orden de 100 m.

$$D = \sqrt[3]{0.052 Q^3} \quad (5.6)$$

Donde:

D es el diámetro aproximado al óptimo, (m)

Q es el caudal de diseño, (m³/s).

La sobrepresión producida por el golpe de ariete se calcula con la expresión siguiente:

$$h_1 = 0.15 \frac{LV}{T} \quad (5.7)$$

Donde:

h_1 es la sobrepresión debida al golpe de ariete, (m)

L es la longitud de la tubería de presión, (m)

V es la velocidad de flujo en la tubería, (m/s)

T es el tiempo de cierre de la válvula de la turbina, (s)

Considerando el valor obtenido de diámetro próximo al óptimo, se realiza el cálculo comparativo para la serie de diámetros internos desde 2300 mm hasta 3100 mm que corresponden a los diámetros comerciales disponibles en tubería de acero. Así se obtuvo que el diámetro óptimo correspondiente es 2700 mm.

5.5 CASA DE MÁQUINAS:

El diseño arquitectónico garantiza el espacio para la instalación de los equipos electromecánicos así como la ventilación requerida para su operación normal.

Adicionalmente, se ha previsto la colocación de un puente grúa, necesario para las labores de instalación y operaciones de mantenimiento del equipo electromecánico. Aquí también se resguarda todo el sistema eléctrico- mecánico de generación eléctrica: caja de transmisión, alternador, gobernador y panel de control, bancos de resistencia, turbina.

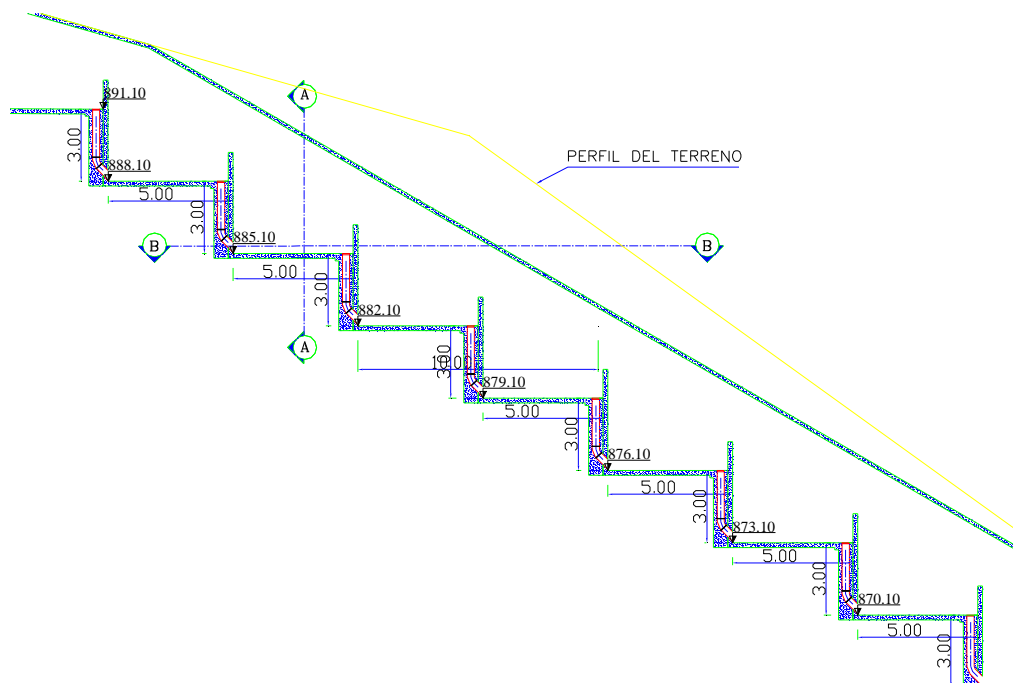
El diseño estructural de este elemento ha considerado especialmente las características del suelo de cimentación existentes en la zona de su ubicación.

5.6 CANAL DE RESTITUCIÓN³³

El canal de restitución que se inicia bajo cada turbina confluye en una sola conducción a superficie libre que termina con la descarga en la margen izquierda del río Alambi, con una longitud de 86 m. Para proteger la zona de descarga en la orilla del río se prevé la colocación de un enrocado de protección. La implantación del canal de restitución descarga haciendo un ángulo de 45° con la dirección de la margen izquierda del río, de tal manera que el caudal llegue a la zona central del cauce.

El canal de restitución (rápida escalonada de 5 m de huella y 3 m de contrahuella, tipo cubetas) en sus 86 m presenta una sección transversal rectangular de dimensiones 2.0 m x 2.0 m como se muestra en la figura siguiente. En la zona de entrega se colocará un enrocado de protección.

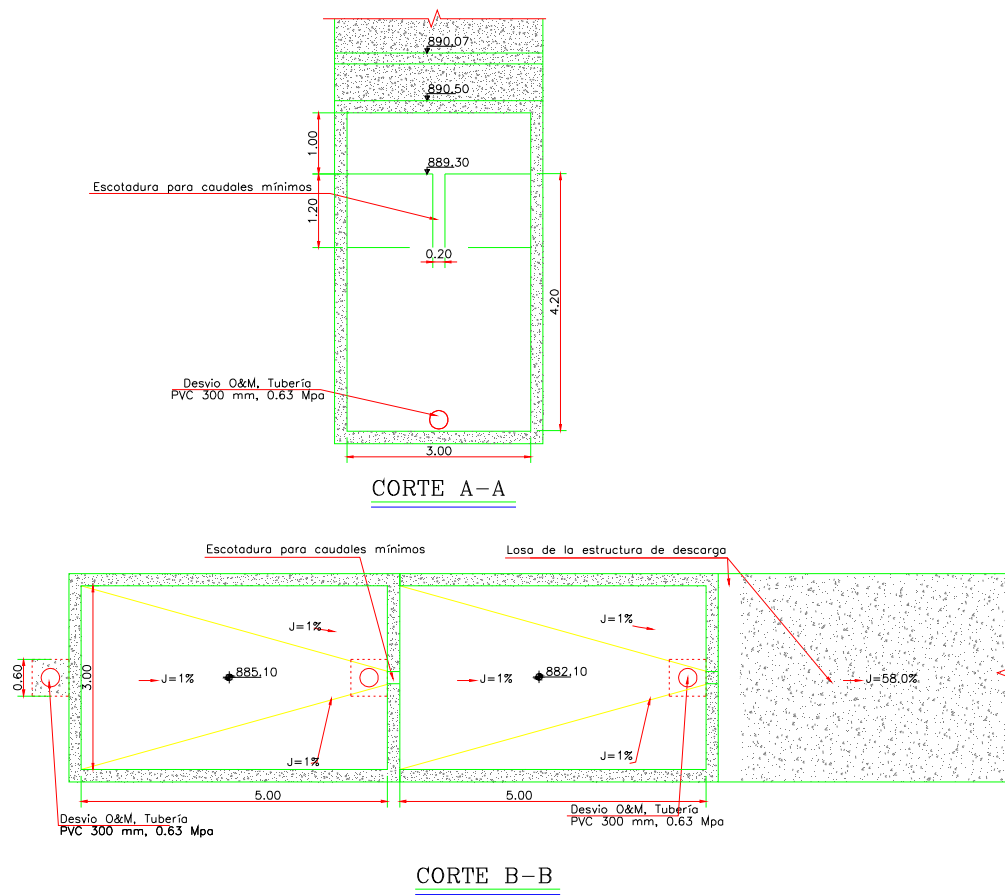
Figura 5.12: Vista en corte Canal de Restitución.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

³³ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Figura 5.13: Detalles del Canal de Restitución.



Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

CAPITULO 6

DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

6.1 SELECCIÓN BÁSICA DE TURBINAS: TIPO Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS³⁴

Para la selección del tipo de turbina, primero se establecen los parámetros fundamentales de diseño, que se encuentran indicados en el siguiente Cuadro 6.1:

Cuadro 6.1: Parámetros fundamentales de Diseño.

PARÁMETRO TÉCNICO	ECUACIÓN	UNIDADES	VALOR
PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE DISEÑO			
Altura Neta	H	m	50
Caudal de Diseño	Q	m ³ /seg	11.2
Potencia Hidráulica	$P_{oth}=9,81*H*Q$	Kwatt	5494
Número de Turbinas			2
Caudal por turbina	Qt	m ³ /seg	5.6

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Considerando la distribución temporal variable de los caudales a lo largo del año, se define la necesidad de utilizar dos unidades de generación, que funcionen en paralelo y de acuerdo con el aporte de los caudales en los ríos Alambi y Tulipe. Si bien el incrementar el número de unidades de generación puede ser interpretado como un incremento de los costos directos de inversión; sin embargo, por razones de seguridad en el suministro de energía y para mejorar el análisis de rentabilidad financiera del proyecto se decidió utilizar dos grupos turbina – generador. De este

³⁴ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Electromecánico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

modo, por lo menos el 50% del tiempo se tendría una producción de energía aprovechando toda la capacidad instalada en la central, con los dos grupos. Un solo grupo de generación estará operando el 80% del tiempo, de conformidad con la curva de duración de los caudales en la secciones de derivación para los dos ríos.

6.1.1 POTENCIA Y EFICIENCIA DE LAS TURBINAS

La ecuación utilizada para el cálculo de la Potencia (Pot) de las turbinas es:

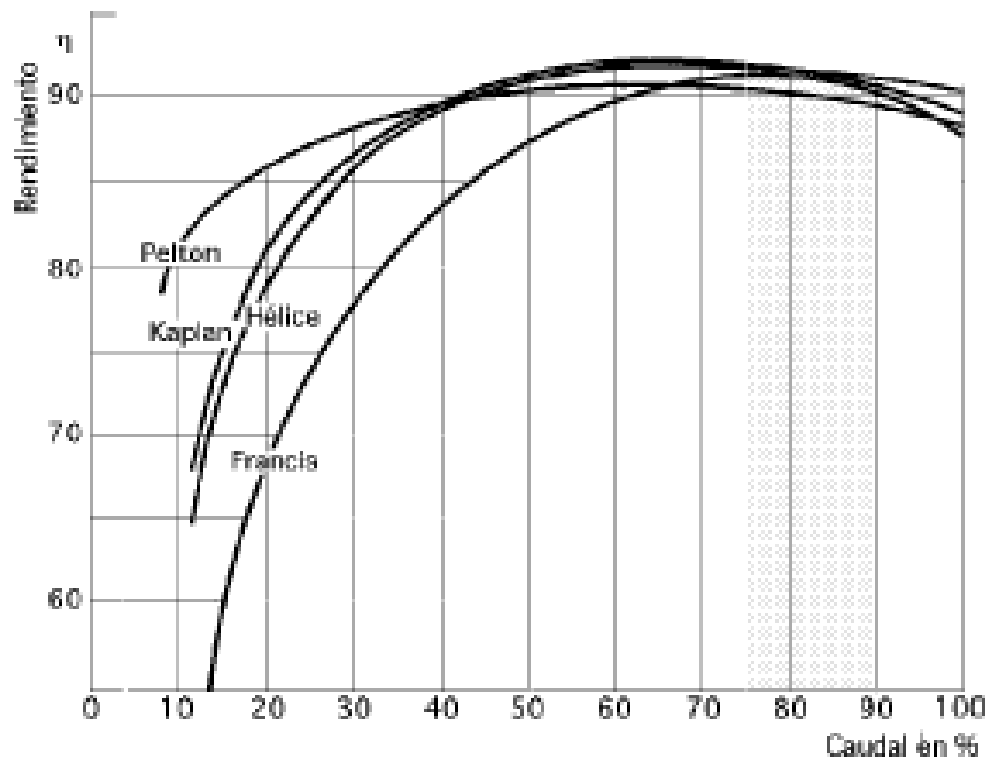
$$Pot = \frac{Q * H * \eta}{0.102} \quad (6.1)$$

Donde:

- Pot: Potencia en Kw.
- Q: Caudal efectivo en m³/seg.
- H: Altura neta en metros.
- η: Eficiencia.

La eficiencia del 88% es la recomendada por fabricantes de turbinas Francis, tales como: Microturbinas Canada, Voith y Sulzer. Se pueden también indicar los valores de eficiencia para varios tipos de turbinas hidráulicas en la Figura 6.1.

Figura 6.1: Eficiencia de turbinas hidráulicas.



Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Los valores de potencia calculados se encuentran en el Cuadro No. 2.6.4.

6.1.2 VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y ESPECÍFICA

La ecuación utilizada para el cálculo de la velocidad específica (n_s) en el Sistema Europeo es:

$$n_s = \frac{N * Pot^{1/2}}{H^{5/4}} \quad (6.2)$$

Donde:

- Pot: Potencia en CV.
 N: Velocidad de la turbina en RPM.
 H: Altura neta en metros.

La ecuación utilizada para el cálculo de la velocidad específica (ns) en el Sistema Americano es:

$$nq = \frac{N * Qt^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (6.3)$$

Donde:

- Qt: Caudal por cada turbina en m3/seg.
 N: Velocidad de la turbina en RPM.
 H: Altura neta en metros.

A continuación se presenta en el Cuadro 6.2, los cálculos de las velocidades específicas y de rotación.

Cuadro 6.2: Velocidades específicas y de rotación.

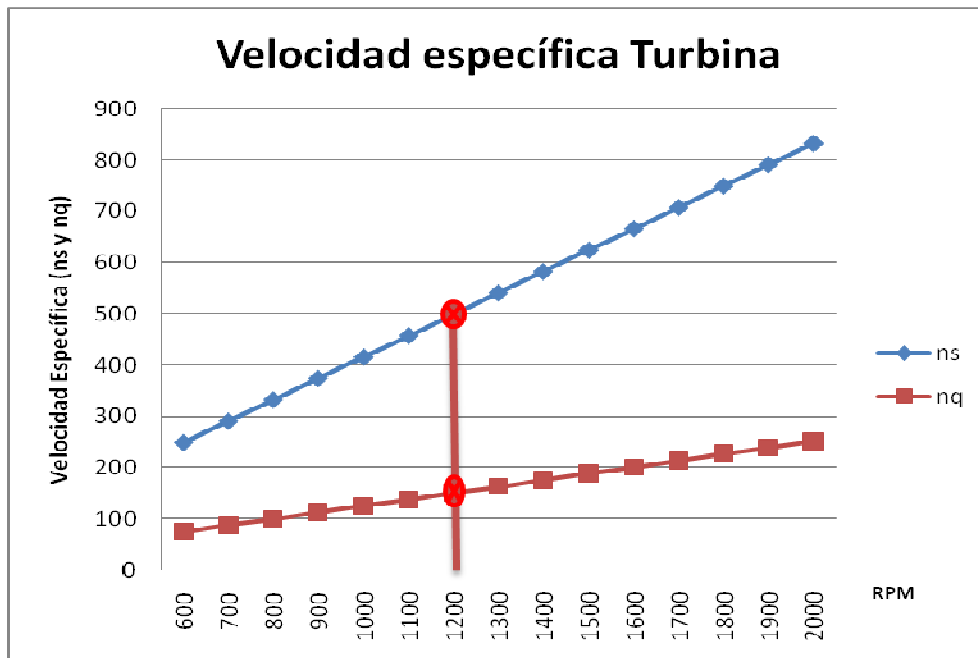
H	Qt	η_t	η_g	N	Pot	Pot	ns	nq
m	m3/seg	%	%	RPM	Kwatt	CV		
50	5,6	88%	93%	600	2248	3056	249	76
50	5,6	88%	93%	700	2248	3056	291	88
50	5,6	88%	93%	800	2248	3056	333	101
50	5,6	88%	93%	900	2248	3056	374	113
50	5,6	88%	93%	1000	2248	3056	416	126
50	5,6	88%	93%	1100	2248	3056	457	138
50	5,6	88%	93%	1200	2248	3056	499	151
50	5,6	88%	93%	1300	2248	3056	541	164
50	5,6	88%	93%	1400	2248	3056	582	176
50	5,6	88%	93%	1500	2248	3056	624	189
50	5,6	88%	93%	1600	2248	3056	665	201
50	5,6	88%	93%	1700	2248	3056	707	214
50	5,6	88%	93%	1800	2248	3056	748	227
50	5,6	88%	93%	1900	2248	3056	790	239
50	5,6	88%	93%	2000	2248	3056	832	252

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

La Figura 6.2, muestra en forma gráfica la determinación de estos valores. En el Cuadro 6.3 y las Figuras 6.3 y 6.4, se presenta la selección del tipo más adecuado de turbina para los valores calculados de velocidades específicas.

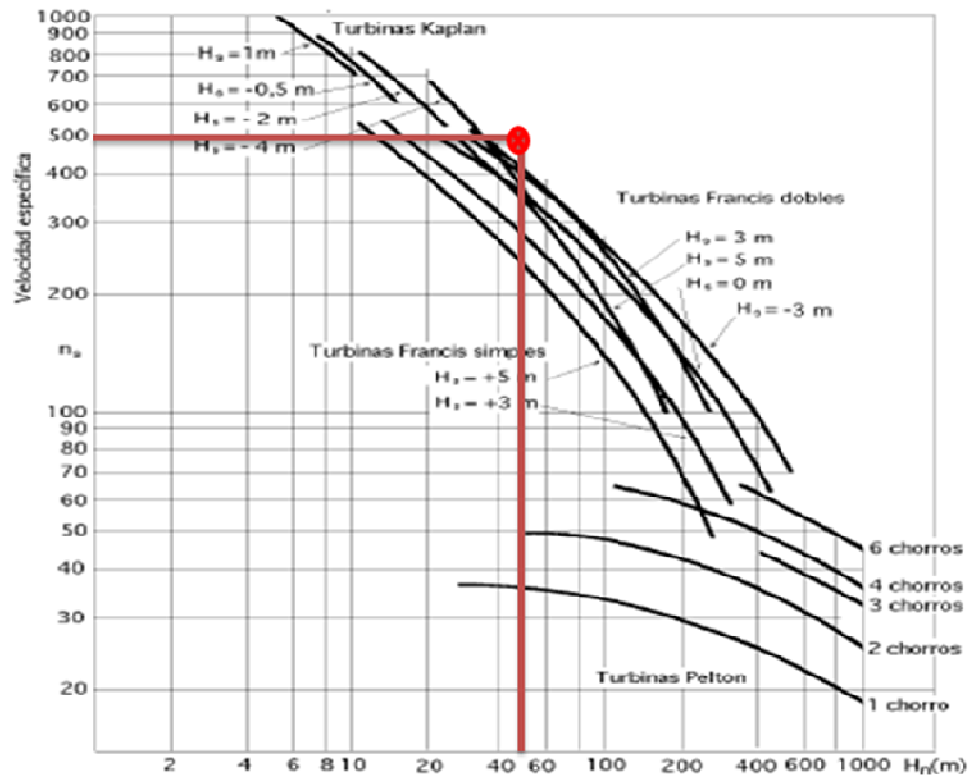
El tipo de turbina recomendado para este caso es: *FRANCIS EXTRARÁPIDA*. En el Cuadro 6.4, se presentan los parámetros fundamentales de diseño y los valores calculados.

Gráfico 6.1: Velocidad Específica Turbina.



Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Figura 6.2: Selección del Tipo de Turbina.



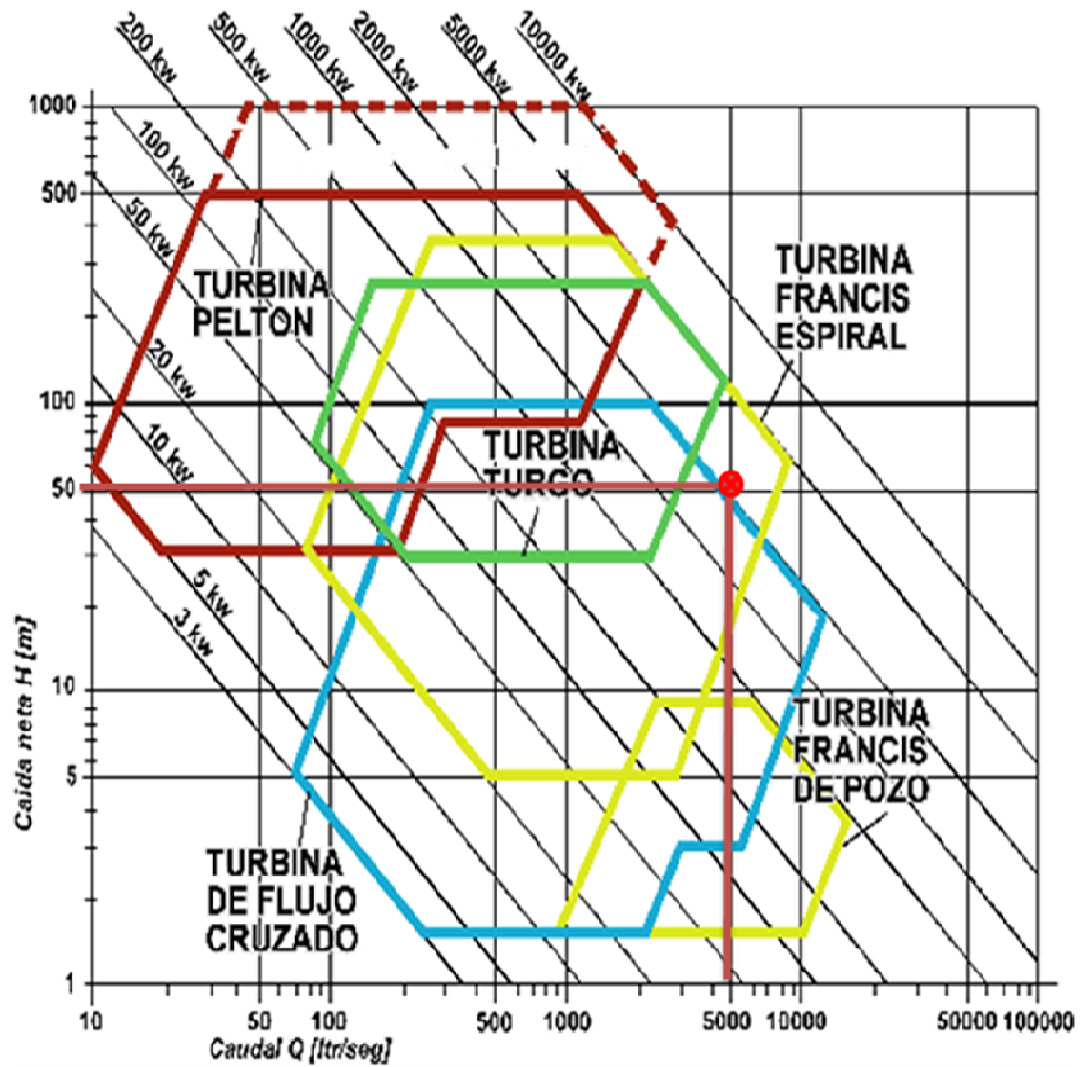
Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Cuadro 6.3 Selección Tipo de turbina.

ns		TIPO DE TURBINA RECOMENDADA	nq	
de:	hasta:		de:	hasta:
5	30	PELTON UNA SOLO INYECTOR	1	9
30	50	PELTON DE VARIOS INYECTORES	9	18
50	100	FRANCIS LENTA	18	60
100	200	FRANCIS NORMAL	60	80
200	400	FRANCIS RÁPIDA	80	140
400	700	FRANCIS EXTRARÁPIDA	140	152
500	1200	KAPLAN	152	320
1000	1350	KAPLAN DE DOS ÁLABES	320	400

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Figura 6.3: Selección tipo de turbina.



Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

Cuadro 6.4: Resumen de cálculos realizados

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE DISEÑO			
Altura Neta	H	m	50
Caudal de Diseño	Q	m ³ /seg	11.2
Potencia Hidráulica	$P_{oth}=9,81 \cdot H \cdot Q$	Kwatt	5494
Número de Turbinas			2
Caudal por turbina	Q_t	m ³ /seg	5.6
Potencia hidráulica por turbina	$P_{otht}=poth/2$	Kwatt	2747
Potencia hidráulica por turbina CV		CV	3735
Velocidad de rotación de Turbina	N	RPM	1200
Velocidad Sincrónica		RPM	1200
Eficiencia de la Turbina	η_t	%	88%
Eficiencia del Generador	η_g	%	93%
Potencia generada por unidad	Pot	Kwatt	2248
Potencia generada por unidad CV		CV	3056
Potencia total generada	P_{otg}	Kwatt	4496
Velocidad Específica (Sistema Europeo)	$n_s=(N \cdot Pot^{(1/2)})/H^{(5/4)}$	N=RPM; Pot=CV; H=m	499
Velocidad Específica (Sistema Americano)	$n_q=(N \cdot Q_t^{(1/2)})/H^{(3/4)}$	N=RPM; $Q_t=m^3/seg$; H=m	151
Tipo de Turbina	TURBINA FRANCIS EXTRARÁPIDA		

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

6.2 SELECCIÓN BÁSICA DE EQUIPO DE REGULACIÓN Y CONTROL EN LA GENERACIÓN

En el Cuadro 6.5, se presentan los parámetros referenciales considerados en la regulación de la turbina.

Cuadro 6.5: Parámetros referenciales de regulación.

PARÁMETROS REFERENCIALES DE REGULACIÓN DE LA TURBINA			
Tipo de regulación de la turbina	Accionamiento oleohidráulico de álabes directores del distribuidor		
Sensores de velocidad	Encoders de mínimo 1200 pulsos por revolución		
Actuadores	Oleohidráulicos		
Carrera aproximada de los actuadores	De 100 a 150 mm		
Capacidad o torque de revolución	Tr	kg-m	1000

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

6.2.1 CRITERIOS DE ESTABILIDAD Y SOBREVOLUCIDAD

Las características de regulación de una unidad son básicamente una función del momento de inercia del rotor del turbogenerador (I) y de la inercia de la columna de agua. La primera de ellas influye positivamente en la estabilidad reguladora de la unidad, mientras que la segunda tiene un efecto contrario.

El momento de inercia del rotor del turbogenerador se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = 77500 * \sqrt[1.25]{\frac{Pot}{N^{1.5}}} \quad (6.4)$$

Donde:

- I : Momento de inercia del rotor del turbogenerador en Ton-m²
- Pot: Potencia en Kwatts.
- N : Velocidad de rotación en RPM

De acuerdo a las Normas NEMA, se establece que, para tener una adecuada capacidad de regulación, se debe cumplir que $t_m / t_w > 5$; en donde:

- t_m : tiempo de arranque de la unidad en segundos
- w : constante de inercia de la tubería en segundos

La ecuación para el tiempo de arranque de las unidades t_m es igual a:

$$t_m = \frac{I * (N * 2 * \pi)^2}{3600 * Pot} \quad (6.5)$$

Donde:

- N : Velocidad del rotor en RPM
- Pot: Potencia en Kwatts.
- t_m : Tiempo de arranque de la unidad en segundos

La ecuación de cálculo para la constante de inercia de la tubería t_w es igual a:

$$t_w = \frac{L * Q}{7.7 * H * Dt^2} \quad (6.5)$$

Donde:

- L: Longitud de la tubería de presión en metros
- Q: Caudal efectivo en m³/seg.
- H: Altura neta en metros
- Dt: Diámetro de la tubería de presión en metros

De acuerdo con el U.S. Bureau of Reclamation se establece que, para una buena capacidad de regulación, se debe cumplir con la siguiente expresión: $t_m \geq 2(t_w)^2$. En el Cuadro 6.6, se presentan los criterios de estabilidad y sobrevelocidad de la turbina, indicando que se cumplen estos índices de manera satisfactoria.

Cuadro 6.6: Criterios de estabilidad y sobrevelocidad.

CRITERIOS DE ESTABILIDAD Y SOBREVELOCIDAD			
Momento de inercia del rotor	$I = 77500 * (Pot / (400 * N^{1,5}))^{1,25}$	$I = \text{Ton-m}^2$; Pot=Kwatt; N=RPM	1,130
Longitud de la tubería de presión	Lt	m	300,000
Diámetro nominal de la tubería de presión	Dt	m	2,700
Tiempo de arranque de la unidad	$t_m = I * N^2 / (91,28 * Pot)$	$t_m = \text{seg}$; I=ton-m ² ; Pot=Kwatt; N=RPM	7,928
Constante de inercia de la Tubería	$t_w = Lt * Q / (7,7 * H * Dt^2)$	$t_w = \text{seg}$; Q=m ³ /seg; H=m; Dt=m	0,599
Relación de tiempos Normas NEMA	t_m / t_w		13,245
Constante tiempo de acuerdo a U.S. Bureau Reclamation	t_w^2		0,358
Condición de estabilidad Normas NEMA	$t_m / t_w \geq 5$	CUMPLE SATISFACTORIAMENTE	
Condición de estabilidad U.S. Bureau Reclamation	$t_m \geq t_w^2$	CUMPLE SATISFACTORIAMENTE	
Velocidad de embalamiento máxima	$VE = 2 * N$		2400

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

6.2.2 DISEÑO REFERENCIAL DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA

Para cada una de las turbinas se incluirá una válvula manual de compuerta, para mantenimiento, a ser instalada en la entrada de la carcasa espiral de la turbina. Su apertura se efectuará manualmente, debiendo tener indicador de posición. Esta válvula tendrá el respectivo by pass que posibilite el equilibrio de presiones. Tanto las sujeciones del sello como el asiento de este, serán de acero inoxidable. En el Cuadro 6.7, se presentan las dimensiones básicas y parámetros fundamentales de las válvulas de compuerta.

Cuadro 6.7: Válvula de compuerta.

Tipo de válvula	Válvula de Compuerta Manual con indicador de posición		
Diámetro de la válvula	Dv	m	1.35
Material de sujeciones y asiento de la válvula	Acero Inoxidable		

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

6.2.3 CAPACIDAD DEL PUENTE GRÚA

En el Cuadro 6.8, se presentan las dimensiones del puente grúa a ser instalado en la casa de máquinas.

Cuadro 6.8: Puente grúa.

CAPACIDAD DEL PUENTE GRUA DE LA CASA DE MÁQUINAS			
Peso de unidad de generación aproximado	$PESO=65*((Pot/900)/N^{0,5})^{0,74}$	PESO=ton; Pot=Kwatt; N=RPM	9,29
Capacidad del puente grua	CAP	ton	15

Fuente: Informe Electromecánico, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

6.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÍNIMAS DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO³⁵

6.3.1 CENTRAL DE GENERACIÓN

El generador será de tipo sincrónico trifásico, de eje vertical, que permitirá la regulación del voltaje de la red y suministrará al potencia reactiva que sea requerida.

La sincronización de las dos unidades será manual o automática.

La conexión del estator será en estrella con el neutro puesto a tierra.

Las características básicas de cada generador serán:

- Potencia nominal 2248 kW
- Número de fases 3
- Factor de potencia en atraso 0.9
- Conexión del estator estrella
- Voltaje nominal 6600 V
- Frecuencia nominal 60 Hz
- Velocidad sincrónica nominal 1200 RPM

6.3.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA SUBESTACIÓN

La subestación de elevación será de configuración en barra simple, constará de tres posiciones:

³⁵ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Electromecánico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

- Dos para las llegadas de los generadores a través de sus transformadores de elevación.
- Una para la línea de salida hacia el sistema de la Empresa Eléctrica Quito.
- Las barras de la subestación serán de ACSR 2/0 AWG.

Los equipos principales de la subestación serán:

- Dos Transformadores de fuerza:
 - 2500 kVA
 - 6600 / 46000 V
 - 60 Hz
 - Trifásico, Conexión Dy1
 - Sumergido en aceite, autorefrigerado, tipo convencional.
 - Indicador de nivel de aceite, válvula de drenaje, conmutador de taps, placa de características y dispositivos de elevación.
- Sistemas de protección:
 - Relé de sobre corriente a tierra 51N
 - Relé de sobre presión de gases 63
 - Relé de bajo nivel de aceite 71
 - Relé de protección diferencial 87

6.3.3 MALLA DE TIERRA

Se deberá instalar una malla de tierra formada básicamente por conductores de cobre y por varillas de coperweld de 16 mm de diámetro y 1,8 m de longitud.

Para comprobar si esta malla es suficiente, se realizan los siguientes cálculos, basándose en la norma IEEE – Std 80 “IEEE Guide for Safety in Substation Grounding”.

Los datos iniciales son:

- tiempo máximo de despeje 0.5 seg
- profundidad de la malla 0.7 m
- resistividad del suelo 30 ohmios metro (suelo orgánico natural)
- resistividad del piso 3000 ohmios metro (suelo con grava y cemento)
- longitud propuesta de malla 69.5 m

6.3.4 APANTALLAMIENTO

Para diseñar el apantallamiento de la salida de la línea de 46 kV se usará el modelo electrogeométrico.

Se considera la estructura de salida de la línea de la central más un mástil que debe colocarse, lo que da un total de 14 m de altura y el dato del radio medio geométrico del conductor # 1/0 AWG de ACSR de $1.36 \cdot 10^{-3}$ m.

Con estos datos se calcula la "Surge impedance":

$$Z_s = 60 \cdot \ln \frac{2 \cdot h}{1.5 \cdot RGM} \quad (6.6)$$

Con lo que se obtiene un valor de 572 Ohmios.

6.3.5 COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO

El nivel de aislamiento para 46 kV (tabla II, norma IEC 71-1), es 250 kV para una altura de 1000 msnm.

Los pararrayos que deben colocarse en la torre de salida de la línea serán para operar en un sistema de 46 kV, con voltaje nominal fase tierra de 40 kV y 250 kV de BIL. Debe recordarse que este valor depende del tipo de puesta a tierra del sistema y del valor de los parámetros de reactancias y resistencias, para el presente se considera un sistema con neutro puesto a tierra.

6.3.6 DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIOS AUXILIARES.

6.3.6.1 Baterías de control

Para las baterías de control se considera un ciclo de descarga de 4 horas y que el ciclo de descarga comienza con la condición más desventajosa de disparo del disyuntor y luego continúa durante las horas de iluminación de emergencia.

El voltaje nominal del banco de baterías será de 125 V de corriente continua.

El banco de baterías deberá disponer de su respectivo cargador de baterías, alimentado con corriente alterna trifásica de 220 V, 60 Hz.

6.3.6.2 Transformador de servicios auxiliares

Para suministrar la energía requerida para la operación de servicios auxiliares, tanto de la central como de la subestación, se requiere de un transformador trifásico de relación 6600 - 208/120 V, 60 Hz, con una capacidad de 50 kVA.

6.3.6.3 Tableros de control medida y protección.

Los tableros requeridos corresponden a:

- Tablero para la turbina
- Tablero generador transformador
- Con los aparatos de control medida y protección
- Tablero de excitación
- Tableros de bajo voltaje 208/120 V c.a.
- Tableros de 125 V c.c.

6.3.6.4 Sistema de automatización de la central

El sistema de automatización de la central se desarrolla mediante un sistema SCADA, el cual incluirá las secuencias de arranque y parada de las unidades de generación y las alarmas. Este sistema además debe permitir supervisar y controlar la operación de los equipos de la subestación.

6.4 GENERALIDADES SOBRE LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN³⁶

La energía producida por la central Tulipe, que corresponde a una potencia de 5 MVA, será transmitida y entregada por una línea de transmisión de 46 kV al sistema de la Empresa Eléctrica Quito S.A. La línea es de aproximadamente 22 km, medidos desde el sitio de la subestación ubicada junto a la casa de máquinas hasta la línea de transmisión de 46 kV, que une las subestaciones Los Bancos y la No. 19, en la población de Tandayapa.

³⁶ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Electromecánico, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

En el caso de que resulte factible o técnicamente viable el proyecto Nanegal, la línea de transmisión del proyecto Tulipe puede conectarse al del primer proyecto antes de conectarse al sistema de la Empresa Eléctrica Quito S.A., a nivel de 46 kV.

El tipo de conductor será ACSR 2/0 AWG, con estructuras de soporte de hormigón. El trazado de la línea en lo posible sigue paralelo a la carretera existente en la zona del proyecto.

Los parámetros que determinaron la selección del conductor fueron los siguientes:

- Potencia entregada = 5000 kW
- Voltaje de línea = 46 kV
- Factor de potencia = 0.9
- Longitud de la línea = 22 km
- Corriente de línea = 70 A

El conductor que lleva esta corriente puede ser el No. 6 AWG de ACSR; sin embargo, debe revisarse la regulación eléctrica.

El detalle de los cálculos realizados se aprecia en el siguiente Cuadro 6.9

Cuadro 6.9: Cálculo del conductor para la línea de Transmisión

CALCULO DEL CONDUCTOR PARA LA LINEA DE TRANSMISION						
CENTRAL TULIPE						
CALCULO DE LA CORRIENTE			CALCULO DE LA CORRIENTE			
DATOS						
V kV	46	46	46	46	46	46
fp	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8
Corriente A	62.8	69.7	78.4	62.8	69.7	78.4
RESISTENCIA CONDUCTOR 2/0			RESISTENCIA CONDUCTOR 2			
CALIBRE	2/0	2/0	2/0	2	2	2
LONGITUD KM	22	22	22	22	22	22
R/MILLA	0.895	0.895	0.895	1.65	1.65	1.65
R/KM	0.55624612	0.55624612	0.55624612	1.02548167	1.02548167	1.02548167
RT	12.2374145	12.2374145	12.2374145	22.5605966	22.5605966	22.5605966
REACTANCIA			REACTANCIA			
PROPIA/MILLA	0.641	0.641	0.641	0.642	0.642	0.642
PROPIA/KM	0.39838409	0.39838409	0.39838409	0.39900559	0.39900559	0.39900559
D1 M	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
D2 M	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
D3 M	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
DMG M	3.56658903	3.56658903	3.56658903	3.56658903	3.56658903	3.56658903
DMG PIES	11.698412	11.698412	11.698412	11.698412	11.698412	11.698412
DMG APROXIM	12	12	12	12	12	12
POR/SEPAR	0.3015	0.3015	0.3015	0.3015	0.3015	0.3015
XT/MILLA	0.9425	0.9425	0.9425	0.9435	0.9435	0.9435
XT/km	0.58576756	0.58576756	0.58576756	0.58638906	0.58638906	0.58638906
XT	12.8868863	12.8868863	12.8868863	12.9005594	12.9005594	12.9005594
IMPEDANCIA			IMPEDANCIA			
Z	17.7714983	17.7714983	17.7714983	25.9885543	25.9885543	25.9885543
REGULACIÓN			REGULACIÓN			
CAIDA VOLT	1115.25862	1239.17625	1394.07328	1630.92378	1812.13754	2038.65473
R %	4.2	4.7	5.2	6.1	6.8	7.7

CAPITULO 7

EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y DE LAS ZONAS DE INFLUENCIA³⁷

El proyecto de la central hidroeléctrica Tulipe, se realizará a 36 Km. de la ciudad de Quito, en la parroquia Nanegal, del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, en la Provincia de Pichincha.

La cuenca del río Alambi, tiene formaciones montañosas con pendientes moderadas y fuertes, con intervención antrópica. Se han transformado formaciones vegetales nativas en áreas dedicadas a actividades agrícolas y ganaderas, a través de la tala de bosque.

La zona es tropical y recibe la influencia alternada de masas de aire oceánico y amazónico, derivándose la estación lluviosa (febrero a mayo, octubre a noviembre) y seca (junio a septiembre, y diciembre). En alturas sobre los 1800 msnm, se observa frecuente neblina y las lluvias son de larga duración y baja intensidad, de ahí que también se denomina a la zona de bosque neblinoso.

La vía de acceso desde Nanegalito, es de segundo orden y asfaltada (dos carriles). La mayoría de vías entre la población principal y propiedades vecinas son de tercer orden (de tierra y para uso vehicular en la época seca).

³⁷ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

7.2 SELECCIÓN DE LÍNEA BASE³⁸

En el desarrollo del estudio se presenta, en primer lugar, la línea base ambiental, en donde se hace una síntesis de las características ambientales respecto de los siguientes aspectos:

7.2.1 AMBIENTE FÍSICO

El río Alambi directamente relacionado con el proyecto, nace en el Ruccu Pichincha, sobre los 4000 m.s.n.m. La cuenca hídrica hasta la estación hidrométrica en Churupamba, tiene un área de 440 Km², una densidad poblacional aproximada de 26 hab./Km², con centros poblacionales cercanos como Calacalí, Nanegal, Nanegalito, Nono. El drenaje principal del curso es sur – noroeste y sigue 45 Km desde la cota 3600 msnm, hasta la estación hidrométrica Alambi en Churupamba, en la cota 1045 msnm.

Es un río de fuerte pendiente, con una media del 5.6 %, y en el tramo de aprovechamiento es del 2 %.

En la cuenca hídrica prevalecen condiciones climáticas de la zona ecuatorial, caracterizada por la influencia de factores atmosféricos, oceánicos y orográficos.

En cuanto a las condiciones atmosféricas de las zonas de influencia para el proyecto, de las zonas con alturas medias de 1572 m y pendientes de 9.1° tenemos: Déficit hídrico de 0 a 5 mm, Altura Media 1.572 m, Pendiente de 9,1°, Meses secos 1, Temperatura mínima anual 14°C, Temperatura máxima anual 25°C, Precipitación anual 2.418 mm, Potencial de Evapotranspiración 126 mm; y de la parte más alta de influencia, tenemos en zonas con alturas medias de 2974m y pendientes promedio de 12°: Déficit hídrico de 25 a 50 mm, Meses secos

³⁸ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

4, Temperatura mínima anual 6°C, Temperatura máxima anual 17°C, Precipitación anual 977 mm, Potencial de Evapotranspiración 270 mm.

En base a la formación natural donde se emplazara el proyecto, se tiene algunas variables biofísicas que caracterizan el tipo de formación montana de la zona, como lo son: Déficit hídrico de 0 a 5 mm, Altura, Meses secos 3, Temperatura mínima anual 9 °C, Temperatura máxima anual 20°C, Precipitación anual 1.433 mm, Potencial de Evapotranspiración 938 mm.

En lo geológico, la falla de Nanegalito, descrita por Eguez y Yepes (1993), se observa desde el río Guayllabamba al norte hasta el río Mindo al sur y corresponde a una zona de falla de hasta 1.5 km de ancho con una dirección NE-SO. Su prolongación septentrional en los ríos Quinde y Azabí muestra rasgos de actividad. Evidencias de su actividad recientes han sido observadas en la zona de Nanegalito, donde se observa un desplazamiento dextral en el río Alambi; el intrusivo de Nanegalito y el basamento de la Cordillera Real también demuestran haber sido afectados por esta zona de falla. Igualmente parece existir un desplazamiento dextral en el lineamiento del río Alambi, ubicado hacia el oeste de esta falla. La evidencia superficial en la falla de Nanegalito demuestra movimiento dextral, de donde se estiman velocidades de falla entre 1 y 2 mm/año. El área de estudio forma parte de la microcuenca del río Alambi, subcuenca del Guayllabamba. Según Winckell, se ubica en dos paisajes naturales principalmente (Winckell, 1997). La parte central y oriental del área de estudio pertenece a los paisajes de la sierra, a las vertientes externas con paisajes diversificados; tienen cobertura de proyecciones piroclásticas recientes, cenizas y lápillis. Esta área presenta relieves muy disectados, disimétricos que se deben a las características geológicas del lugar como la formación Silante que proviene de la destrucción del arco volcánico "Macuchi" y se compone de capas decimétricas a métricas, rojizas a violetas y de sedimentos volcano-clásticos diversos. Debido a la disección y fuertes pendientes que presenta el paisaje la cobertura de cenizas es discontinua. Los suelos se asocian a los ferralíticos rejuvenecidos y coluvionados y andosoles desaturados muy humíferos en la parte alta. También existen en el área formas

de origen volcánico como derrames, láhars, flujos de piroclastos provenientes del Pululahua.

7.2.2 AMBIENTE BIÓTICO

7.2.2.1 Recursos Acuáticos.

A causa de las pendientes, los ríos que se originan en las alturas andinas corren por las estribaciones en forma de torrentes, los nutrientes que van en el agua son acarreados a tierras bajas, por esta razón la fauna ictiológica de este piso es relativamente pobre, carácter que se agudiza en las partes altas.

7.2.3 RECURSOS TERRESTRES.

7.2.3.1 Flora.

En el área se han identificado composiciones florísticas según la clasificación de Sierra (1999), en base a las coordenadas del proyecto, en la zona se tiene una densa vegetación cubre la mayor parte de la cuenca del Alambi, se tiene especies de árboles de altura entre 20 y 25 m; se caracteriza por la abundante presencia de musgo, orquídeas, helechos y bromelias, además es el hábitat propicio para bambúes. En la parte más alta se han observado manchas de bosque primario entremezcladas con bosque secundario.

En los sectores a orillas del río Alambi, con suelo de color café oscuro, se encuentra principalmente vegetación secundaria.

De las formaciones de la parte más baja de la zona, en directa relación con el área del proyecto Tulipe, tenemos la formación de clasificación como Bosque

siempre verde piemontano, con predominio de especies arbóreas, especialmente del grupo de las palmas; la cobertura herbácea es densa. Existen orquídeas, helechos, bromelias y aráceas en los fustes de los árboles.

Los pastos de pisos bajos y cálidos están establecidos sobre antiguas zonas pioneras, que poco a poco se han ido consolidando, desplazando paulatinamente hasta quedar en escasos relictos de bosque. Estos pastizales se caracterizan por la presencia de árboles que se han mantenido para ser utilizados como sombra para animales así como por sus productos. Los pastizales de altura que se encuentran localizados al este de la zona de interés, en su mayoría son naturales y mezclados con pastos artificiales.

7.2.3.2 Fauna.

Los escasos conocimientos relativos a la fauna de este piso, no permiten caracterizarla en forma definida, en términos generales partícipe de la fauna de los pisos adyacentes; por esta razón aquí se encuentran representantes tropicales y de tierras más altas.

Existen anfibios y también reptiles únicamente del tipo Saurios y Ofidios.

En cuanto a las aves se encuentran varias familias como la Ardeidae que comprende a las garzas, viven en terrenos pantanosos y riberas de los ríos, se alimentan de peces, anfibios, insectos, etc.

Abundan las tórtolas y palomas, además hay loros y pericos. Existen chotacabras y guácharos o tayos, estos últimos habitan en las cuevas de las estribaciones.

Un colibrí típico es el cola azul, que tiene una cola larga y vistosa, también encontramos el quinde real, el quinde corbata blanca.

Finalmente entre los mamíferos más representativos se encuentran los Quirópteros o murciélagos, chimilacos o tutapischcos, especies como de aproximadamente 6 cm de largo.

Existen ardillas, se hallan también las ratas y ratones del campo. La pacarana o guanta de cola es una especie en peligro de extinción.

7.2.4 MEDIO HUMANO

La población total de la parroquia de Nanegal, es de 2560 habitantes. La población está encaminada especialmente a la ganadería, tanto para consumo como para una pequeña comercialización. El turismo se ha incrementado en los últimos tiempos, puesto que la zona es rica en flora y fauna nativa.

La tasa de desempleo es baja, puesto que se dedican a trabajar sus tierras o se emplean en haciendas vecinas a sus propiedades.

El Nivel de Educación de los habitantes de la zona de influencia del proyecto Central Hidroeléctrica Tulipe, es media (han cursado la secundaria) sin embargo la mayoría (44.5 %) han aprobado el Tercer Curso, seguidos por un 32 % que han culminado la secundaria. Un 5.5 % de la población han culminado estudios superiores. La tasa de analfabetismo es de alrededor del 16.8 %, por lo que existen iniciativas para desarrollar educación a distancia, para beneficiar a jóvenes y adultos, superando la problemática del analfabetismo y procurando que los jóvenes permanezcan en su territorio, evitando que migren a Quito.

La población trabaja en el procesamiento de panela y aguardiente. Zona donde se practica la pesca deportiva. El Centro Piscícola Nanegal, que pertenece a Consejo Provincial. La Reserva Maquipucuna es parte de la Bio - región Chocó Andina, y es considerada Una de las 18 áreas "sensibles" de mayor biodiversidad

en el planeta. Está el Centro de Ecoturismo Thomas HG. Davis, que ofrece alojamiento.

La carencia de servicios básicos como agua potable y alcantarillado sanitario, es el origen de enfermedades infecciosas, con mayor frecuencia en los niños. La parasitosis es común en gran parte de la población. La comunidad realiza gestiones para la dotación de esta infraestructura básica con el Consejo Provincial de Pichincha.

La mayoría de la población de Nanegal en su centro poblado y la periferia, les hace falta agua potable, alcantarillado, servicio telefónico. El agua que consumen es entubada y no necesariamente de buena calidad, pues en el invierno se enturbia notablemente.

7.3 LISTA DE CHEQUEO DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES³⁹

Se han definido dos etapas en el desarrollo de las actividades del proyecto, sujetas a la evaluación de impactos ambientales.

7.3.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Se han establecido para la etapa constructiva las actividades del proyecto que podrían producir efectos relevantes sobre el medio ambiente en el área de influencia del mismo, que son:

- A1.** Expropiaciones de Terrenos e Inmuebles
- A2.** Vía de acceso al sitio del Proyecto

³⁹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

- A3.** Montaje y Funcionamiento de Campamento y Depósito de Materiales
- A4.** Limpieza del sitio y del cauce
- A5.** Transporte de Insumos, Materiales y Equipos
- A6.** Conformación del Azud, Vertedor y Captación

7.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL CANAL, TÚNEL, TANQUE DE CARGA Y TUBERÍA DE PRESIÓN

- A7.** Casa de Máquinas y Restitución de Aguas
- A8.** Obras de Control de Erosión
- A9.** Construcción de Línea de Transmisión de Energía
- A10.** Desmantelamiento de Campamento

7.3.3 ETAPA DE OPERACIÓN

Para la valoración de los impactos ambientales de la Etapa de Operación se han tomado en cuenta las siguientes actividades:

- B1.** Llenado de las zonas de inundación aguas arriba de las bocatomas
- B2.** Operación del Disipador
- B3.** Socavación del Cauce
- B4.** Control de Erosión
- B5.** Control del Flujo
- B6.** Gestión de la Cuenca
- B7.** Regulación del Flujo
- B8.** Operación de Descarga
- B9.** Transporte
- B10.** Generación de Energía y Transporte
- B11.** Generación de Desechos.

7.4 MATRIZ DE VALORACIÓN⁴⁰

La valoración de los Impactos Ambientales se fundamenta en lo siguiente: el Carácter, la Intensidad, el Riesgo de Ocurrencia, la Extensión, la Duración, el Desarrollo y la Reversibilidad.

Cuadro 7.1: Matriz de Valoración.

PARAMETRO	DESCRIPCION	RANGO	CALIFICACION
CARÁCTER (Ca)	Define las acciones o actividades de un proyecto, como perjudicial o negativa, positiva, neutra o previsible (difícilmente calificable sin estudios específicos).	Negativo	-1
		Positivo	1
		Neutro	0
INTENSIDAD (I)	Expresa la importancia relativa de las consecuencias que incidirán en la alteración del factor considerado. Se define por interacción del Grado de Perturbación (GP) que imponen las actividades del proyecto y el Valor Ambiental asignado al recurso. (1)	Muy Alta	1.0
		Alta	0.7
		Mediana	0.4
		Baja	0.1
EXTENSION (E)	Define la magnitud del área afectada por el impacto, entendiéndose como la superficie relativa donde afecta el mismo.	Regional	0.8 – 1.0
		Local	0.4 – 0.7
		Puntual	0.1 – 0.3
DURACION (Du)	Se refiere a la valoración temporal que permite estimar el periodo durante el que las repercusiones serán detectadas en el factor afectado.	Permanente (>10 años)	0.8 – 1.0
		Larga (5 – 10 años)	0.5 – 0.7
		Media (3 – 4 años)	0.3 – 0.4
		Corta (< 2 años)	0.1 – 0.2
DESARROLLO (De)	Califica el tiempo que el impacto tarda en desarrollarse completamente. La forma en que evoluciona el impacto, desde que aparece y se manifiesta, hasta que se hace presente plenamente, con todas sus consecuencias.	Muy rápido (< 1 mes)	0.9 – 1.0
		Rápido (1 – 6 meses)	0.7 – 0.8
		Medio (6 – 12 meses)	0.5 – 0.6
		Lento (12 – 24 meses)	0.3 – 0.4
		Muy lento (> 24 meses)	0.1 – 0.2

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

⁴⁰ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Cuadro 7.1: Continuación.

REVERSIBILIDAD (Re)	Evalúa la capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto	Irreversible	0.8 – 1.0
		Parcialmen. Reversible	0.4 – 0.7
		Reversible	0.1 – 0.3
RIESGO DE OCURRENCIA (Ro)	Califica la probabilidad que el impacto ocurra, debido a la ejecución de las actividades del proyecto.	Cierto	9 – 10
		Muy - probable	7 – 8
		Probable	4 – 6
		Poco - probable	1 – 3
CALIFICACION AMBIENTAL (CA)	Es la expresión numérica de la interacción de los parámetros o criterios. El valor de CA se corresponde con un valor global de la importancia del impacto. Se aplica según la fórmula.	Impacto -Bajo	0 – 3
		Impacto -Medio	4 – 7
		Impacto -Alto	8 – 10

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

El Valor Ambiental (VA) es un criterio de evaluación del grado de importancia de una unidad territorial o de un elemento en su entorno. La importancia la define el especialista en orden al interés y calidad que estime y por el valor social y/o político del recurso. VA puede ser: muy alto, alto, medio, bajo.

La determinación de la Intensidad (In) se fija con el cruce de GP vs. VA, conforme al siguiente cuadro:

Cuadro 7.2: Valoración Ambiental

	VALOR AMBIENTAL			
Grado de Perturbación	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Fuerte	Muy Alta	Alta	Mediana	Baja
Medio	Alta	Alta	Mediana	Baja
Suave	Mediana	Mediana	Baja	Baja

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

Una vez establecidas las etapas, actividades y acciones impactantes y los factores del medio impactados, se califican los impactos, positivos o negativos. Se comienza la etapa de valoración confeccionando las matrices de doble entrada,

en filas, se indican las actividades por etapas y en columnas los factores del medio impactado. Se identifican los impactos ambientales, mediante las Matrices de Identificación de Impactos en las etapas de Construcción y Operación del Proyecto de la Central Hidroeléctrica Tulipe, luego se incluyen los resultados de la valoración, donde se definen los parámetros establecidos: Carácter (Ca), Intensidad (I), Extensión (E), Duración (Du), Desarrollo (De), Reversibilidad (Re) y Riesgo de Ocurrencia (Ro.)

Se utiliza la fórmula polinómica expuesta en la metodología, obteniéndose la calificación de cada impacto ambiental identificado y que va a formar la matriz de Calificación Ambiental (CA).

$$CA= Ca \times (I + E + Du + De + Re) \times Ro / 5 \quad (7.1)$$

Se analiza posteriormente indicando la valoración final de los impactos detectados, positivos y negativos.

A continuación se exponen los resultados numéricos de las valoraciones. Se analizan los impactos ambientales positivos y negativos, con Calificación Ambiental (CA) Media (4 a 7) y Alta (8 a 10).

Cuadro 7.3: Matriz de calificación de Impactos Ambientales.

MATRIZ DE CALIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES - PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA TULIPE												
ACTIVIDADES DEL PROYECTO - CONSTRUCCION COMPONENTES DEL AMBIENTE		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
		Expropiación de Terrenos	Vía de acceso al sitio del Proyecto	Montaje y Funcionamiento del Campamento	Limpieza del Sitio y del Cauce	Transporte de Insumos Material y Equipo	Conformación del Azud, Vertedor y Captación	Construcción del Canal, Túnel, Tanque de Carga y Tubería a Presión	Casa de Máquinas y Restitución de Aguas	Obras de Control de Erosión	Construcción de Línea de Transmisión de Energía	Desmantelamiento de Campamento
C1	CALIDAD DEL AIRE											
	i Calidad del Aire		X	X	X	X		X	X	X	X	X
S1	SUELOS											
	i Calidad		X					X		X		X
S2	ii Estabilidad		X	X	X			X		X		
S3	iii Uso Actual	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
AG1	AGUA											
	i Calidad del Agua Superficial		X	X			X	X		X		
AG2	ii Cambio Hidrológico				X		X	X	X			
AG3	iii Control de Inundaciones						X		X			
FyF1	FLORA Y FAUNA											
	i Flora		X	X	X		X	X	X		X	
FyF2	ii Fauna		X		X		X	X	X		X	
HC1	HISTORICO CULTURAL											
	i Costumbres	X	X	X					X	X	X	
HC2	ii Restos Arqueológicos	X	X	X			X	X		X	X	
HC3	iii Recreación	X	X			X						
HC4	ii Paisaje Estético			X			X	X	X	X	X	
AS1	ASENTAMIENTOS											
	i Reasentamientos	X	X					X			X	
AS2	ii Estructura de la Propiedad	X	X	X			X	X		X	X	
AS3	iii Desarrollo Inducido		X							X		
EC1	ECONOMIA											
	i Generación de Empleo		X	X	X	X	X	X		X	X	
EC2	ii Economía Local	X	X					X		X		
CV1	CALIDAD DE VIDA											
	i Estilo de Vida (Expectativas)	X	X	X		X				X		
CV2	ii Infraestructura		X								X	
CV3	iii Servicios Públicos									X	X	
CV4	iv Seguridad de Operarios	X	X		X		X	X		X	X	
CV5	v Seguridad de Personas					X	X	X	X	X		

MATRIZ DE CALIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES - PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA TULIPE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO - COOPERACION		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
		Llenado del Reser- vorio	Opera- ción del Disipa- dador	Soca- va- ción del Cauce	Em- balsa- mien- to	Con- trol y Regula- ción del Flujo	Ges- tión de la Cuen- ca	Manteni- miento de infraestruc- tura y Equipos	Opera- ción de Des- carga	Trans- porte	Gene- ración de Energía y Trans- porte	Gene- ración de Dese- chos
C1	CALIDAD DEL AIRE											
	i Calidad del Aire							X		X	X	X
S1	SUELOS											
	i Calidad						X					X
S2	ii Estabilidad	X		X	X	X	X		X		X	
S3	iii Uso Actual	X		X								X
AG1	AGUA											
	i Calidad del Agua Superficial	X	X	X	X		X	X	X			
AG2	ii Cambio Hidrológico	X			X	X						
AG3	iii Control de Inundaciones					X	X					
FyF1	FLORA Y FAUNA											
	i Flora			X	X		X					
FyF2	ii Fauna	X	X		X		X					
HC1	HISTORICO CULTURAL											
	i Costumbres	X				X	X	X		X	X	X
HC2	ii Restos Arqueológicos		X	X					X			
HC3	iii Recreación	X				X						
HC4	ii Paisaje Estético	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
AS1	ASENTAMIENTOS											
	i Reasentamientos				X		X					
AS2	ii Estructura de la Propiedad			X		X	X				X	
AS3	iii Desarrollo Inducido										X	
EC1	ECONOMIA											
	i Generación de Empleo							X		X	X	X
EC2	ii Economía Local								X			
CV1	CALIDAD DE VIDA											
	i Estilo de Vida (Expectativas)	X			X	X				X	X	
CV2	ii Infraestructura						X	X	X			
CV3	iii Servicios Públicos									X		X
CV4	iv Seguridad de Operarios					X			X		X	
CV5	v Seguridad de Personas	X				X	X	X				

MATRIZ DE CALIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES - PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA TULIPE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO - COOPERACION COMPONENTES DEL AMBIENTE		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
		Llenado del Reser- vorio	Opera- ción del Disipa- dor	Soca- va- ción del Cauce	Em- balsa- mien- to	Con- trol y Regula- ción del Flujo	Ges- tión de la Cuen- ca	Manteni- miento de infraestruc- tura y Equipos	Opera- ción de Des- carga	Trans- porte	Gene- ración de Energía y Trans- porte	Gene- ración de Dese- chos
C1	CALIDAD DEL AIRE											
	i Calidad del Aire							X		X	X	X
S1	SUELOS											
	i Calidad						X					X
S2	ii Estabilidad	X		X	X	X	X		X		X	
S3	iii Uso Actual	X		X								X
AG1	AGUA											
	i Calidad del Agua Superficial	X	X	X	X		X	X	X			
AG2	ii Cambio Hidrológico	X			X	X						
AG3	iii Control de Inundaciones					X	X					
FyF1	FLORA Y FAUNA											
	i Flora			X	X		X					
FyF2	ii Fauna	X	X		X		X					
HC1	HISTORICO CULTURAL											
	i Costumbres	X				X	X	X		X	X	X
HC2	ii Restos Arqueológicos		X	X					X			
HC3	iii Recreación	X				X						
HC4	ii Paisaje Estético	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
AS1	ASENTAMIENTOS											
	i Reasentamientos				X		X					
AS2	ii Estructura de la Propiedad			X		X	X				X	
AS3	iii Desarrollo Inducido										X	
EC1	ECONOMIA											
	i Generación de Empleo							X		X	X	X
EC2	ii Economía Local								X			
CV1	CALIDAD DE VIDA											
	i Estilo de Vida (Expectativas)	X			X	X				X	X	
CV2	ii Infraestructura						X	X	X			
CV3	iii Servicios Públicos									X		X
CV4	iv Seguridad de Operarios					X			X		X	
CV5	v Seguridad de Personas	X				X	X	X				

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES - PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA TULIPE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO - CONSTRUCCION		COMPONENTES DEL AMBIENTE		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	
		Expropiación de Terrenos	Vía de acceso al sitio del Proyecto	Montaje y Funcionamiento del Campamento	Limpieza del Sitio y del Cauce	Transporte de Insumos Material y Equipo	Conformación del Azud, Vertedor y Captación	Construcción del Canal, Túnel, Tanque de Carga y Tubería a Presión	Casa de Máquinas y Restitución de Aguas	Obras de Control de Erosión	Construcción de Línea de Transmisión de Energía	Desmantelamiento de Campamento			
C1	CALIDAD DEL AIRE														
	i Calidad del Aire		-3,60	-3,20	-2,38	-5,12			-3,96	-2,10	-2,38	-3,52	-2,38	-28,64	
	SUELOS														
S1	i Calidad		-3,36						-5,40		2,66		-1,80	-7,9	
S2	ii Estabilidad		-4,48	-1,92	-3,50				-5,22		4,96			-10,16	
S3	iii Uso Actual	-5,04	-6,12	-4,32		-3,04	-3,84	-6,12	-4,00	3,36	-4,64	-3,20	-36,96		
	AGUA														
AG1	i Calidad del Agua Superficial		-4,32	-3,52			-2,56	-4,80		3,22			-11,98		
AG2	ii Cambio Hidrológico				-5,04		-7,20	-4,80	-4,62				-21,66		
AG3	iii Control de Inundaciones						4,48		3,50				7,98		
	FLORA Y FAUNA														
FyF1	i Flora		-4,00	-2,38	-4,86		-2,38	-5,58	2,64		-4,80		-21,36		
FyF2	ii Fauna		-3,08		-3,84		-6,12	-5,60	-2,94		-2,64		-24,22		
	HISTORICO CULTURAL														
HC1	i Costumbres	-8,40	-6,12	-5,76						-5,12	-4,16	-4,06	-33,62		
HC2	ii Restos Arqueológicos	-8,40	-7,40	-4,00			-3,78	-8,10		-4,00	-5,76		-41,44		
HC3	iii Recreación	-3,72	-2,40			-2,04							-8,16		
HC4	ii Paisaje Estético			-3,04			-4,06	-6,48	-4,32	-3,36	-4,90		-26,16		
	ASENTAMIENTOS														
AS1	i Reasentamientos	-6,66	-5,44						-5,44			-3,92	-21,46		
AS2	ii Estructura de la Propiedad	-3,64	-3,78	-2,16			-2,52	-4,48		-2,80	-4,90		-24,28		
AS3	iii Desarrollo Inducido		2,40							2,52			4,92		
	ECONOMIA														
EC1	i Generación de Empleo		4,00	4,50	3,20	2,88	3,52	4,48		3,04	3,92		29,54		
EC2	ii Economía Local	-3,78	4,20					3,68		2,28			6,38		
	CALIDAD DE VIDA														
CV1	i Estilo de Vida (Expectativas)	-3,92	3,50	2,94		3,36					3,64		9,52		
CV2	ii Infraestructura		4,06									4,20	8,26		
CV3	iii Servicios Públicos									4,00	3,22		7,22		
CV4	iv Seguridad de Operarios	-5,76	-3,52		-4,64		-4,50	-4,68		-4,16	-6,12		-33,38		
CV5	v Seguridad de Personas					-2,94	-3,92	-3,50	-3,50	3,68			-10,18		
		-49,32	-39,46	-22,86	-21,06	-6,90	-32,88	-66,00	-20,46	12,50	-33,92	-7,38			

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES - PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA TULIPE

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> ACTIVIDADES DEL PROYECTO - COOPERACION COMPONENTES DEL AMBIENTE </div>		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	
		Llenado del Reser- vorio	Opera- ción del Disi- pador	Soca- va- ción del Cauce	Em- balsa- mien- to	Con- trol del Flujo	Ges- tión de la Cuen- ca	Manteni- miento de infraestruc- tura y Equipos	Ope- ra- ción de Des- carga	Trans- por- te	Gene- ra- ción de Ener- gía	Gene- ración de Dese- chos	
C1	CALIDAD DEL AIRE												
	i Calidad del Aire							-1,84		-4,48	-4,20	-3,36	-13,88
	SUELOS												
S1	i Calidad						3,22					-2,24	0,98
S2	ii Estabilidad	-6,66		-3,84	-7,20	-4,06	3,64		-5,12		-1,80	-2,40	-27,44
S3	iii Uso Actual	-6,66		-4,64								-2,94	-14,24
	AGUA												
AG1	i Calidad del Agua Superficial	-3,10	-3,22	-4,34	-3,72		3,36		-2,94				-13,96
AG2	ii Cambio Hidrológico	-7,02			-7,20	-5,76							-19,98
AG3	iii Control de Inundaciones						4,34						4,34
	FLORA Y FAUNA												
FyF1	i Flora			-4,96	-5,92		3,12						-7,76
FyF2	ii Fauna	-5,60	-3,48		-5,92		3,22						-11,78
	HISTORICO CULTURAL												
HC1	i Costumbres	-6,48				-4,20	3,24	3,00		-2,88	-3,70	-3,12	-14,14
HC2	ii Restos Arqueológicos		-3,78	-6,24					-7,02				-17,04
HC3	iii Recreación	5,12				-4,34							0,78
HC4	ii Paisaje Estético	-7,20	-3,12	-4,16	-7,02	-4,96	4,00		-5,28	-2,52	-5,92	-4,64	-40,82
	ASENTAMIENTOS												
AS1	i Reasentamientos				-4,62		4,06						-0,56
AS2	ii Estructura de la Propiedad			-3,24		-2,88	5,12				-5,60		-6,60
AS3	iii Desarrollo Inducido										-4,64		-4,64
	ECONOMIA												
EC1	i Generación de Empleo							3,36		3,08	2,94	4,06	13,44
EC2	ii Economía Local									3,92			3,92
	CALIDAD DE VIDA												
CV1	i Estilo de Vida (Expectativas)	-4,48			-4,64	-4,32				-3,84	5,76		-11,52
CV2	ii Infraestructura						4,64	-2,38	-2,66				-0,40
CV3	iii Servicios Públicos									3,64		3,92	7,56
CV4	iv Seguridad de Operarios					-4,34			-4,80		-5,92		-15,06
CV5	v Seguridad de Personas	-5,44				-4,34	3,36	5,28					-1,14
		-47,52	-13,6	-31,42	-46,24	-39,2	45,32	7,42	-27,82	-3,08	-23,08	-10,72	

7.5 ANÁLISIS DE LA VIALIDAD AMBIENTAL⁴¹

A7. Construcción del Túnel, Tanque de Carga y Tubería de Presión, es la actividad de mayor valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa (-66,00). El número total de impactos ambientales suman dieciséis (16), de los que catorce (14) son negativos (-) y dos (2) son positivos (+). En los impactos ambientales negativos, uno (1) es alto, dos (2) son medios y once (11) son bajos. De los impactos positivos es el uno es medio y el otro, bajo.

A1. Expropiación de terrenos, el valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa en esta actividad es (-49,32). El número total de impactos ambientales suman nueve (9), donde todos son negativos (-). En ellos, dos (2) son altos, tres (3) son medios y cuatro (4) bajos.

A2. Vía de acceso al sitio del proyecto, el valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa en esta actividad es (-39,46). El número total de impactos ambientales suman dieciocho (18). Son trece (13) impactos negativos (-), donde seis (6) son bajos y siete (7) medios. Los impactos positivos (+) ascienden a cinco (5), de los que tres (3) son medios y dos (2) son bajos.

A10. Construcción de la Línea de Transmisión, el valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa en esta actividad es (-33,92). El número total de impactos ambientales suman trece (13). Los impactos positivos (+) son tres (3), dos (2) bajos y un (1) medio. De los diez (10) impactos negativos, tres (3) son bajos y siete (7) medios.

A6. Conformación del Azud, Vertedor y Captación, el valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa en esta actividad es (-32,88). El número total de impactos ambientales suman doce (12), negativos (-) y positivos (+).

⁴¹ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Impactos Ambientales. Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Los impactos positivos (+) son dos, un bajo y un medio. Los impactos negativos (-) son diez (10), seis (6) bajos y cuatro (4) medios.

Los elementos del ambiente más afectados por las actividades arriba anotadas son:

HC4. Paisaje Estético, con ocho (8) impactos negativos (-), donde dos (2) son bajos, y cuatro (4) son medios.

HC1. Costumbres de la Población, con un total de seis (6) impactos negativos (-), donde un (1) impacto es alto y los otros cinco (5) son medios.

CV4. Seguridad de los Trabajadores, total de impactos ambientales siete (7), todos negativos (-), de los que uno (1) es bajo, y seis (6) son medios.

S3. Uso actual del Suelo, con diez (10) impactos en total, seis (6) impactos negativos (-) medios, tres (3) impactos negativos (-) bajos y un (1) impacto positivo (+) bajo.

HC2. Restos Arqueológicos, con siete (7) impactos negativos (-), de ellos dos (2) son altos, cuatro (4) son de nivel medio y uno (1) es bajo.

F. Flora y Fauna, con 13 impactos todos negativos (-), donde seis (6) son medios y siete (7) son bajos.

EC1. Generación de Empleo, en el medio antrópico es al que mayor impactos positivos (+) genera el proyecto, total son siete (7), donde dos (2) son altos, cuatro (4) son medios y uno (1) es bajo.

Las afectaciones sobre el medio natural prevalecen tanto en cantidad como en intensidad sobre el antrópica, donde el mayor impacto es incluso positivo, por la generación de empleo en una zona donde existe población en el segmento socio – económico de pobres. La flora y fauna serán los más afectados, con 13 impactos negativos, en la fase de construcción del proyecto de la central

hidroeléctrica Tulipe, la intensidad es alta por ser una zona alejada de centros poblados y el suelo no está sujeto todavía a un uso intensivo en actividades antrópicas, a pesar de la presencia de colonos.

La construcción de la vía de acceso al proyecto, también tendrá influencia en la afectación de la flora y fauna, y en la estética de esta zona natural. A futuro servirá para una mayor intrusión de personas a bosques naturales y explotación del bosque mediante tala de árboles.

El uso del suelo, estará sujeto a las gestiones que se realicen para la expropiación de los terrenos necesarios para la ejecución de levantamientos topográficos y ensayos de suelos, en sitios donde las obras civiles así lo requieren. Si la gestión no es adecuada pueden presentarse conflictos socio – ambientales, que impedirían la ejecución de los estudios de factibilidad, diseño definitivo y en último caso, la ejecución del proyecto. El suelo será afectado en su estabilidad en el trayecto de la línea de transmisión de energía y la servidumbre que necesita para su mantenimiento.

La construcción del túnel, desde el desarenador junto al río Alambi hasta el río Tulipe para transvasar el agua que requiere la central hidroeléctrica denominada Tulipe, genera menor número de impactos ambientales negativos en el proyecto en cuanto a expropiación de terrenos y reasentamientos, pues evita tener que adquirir una amplia franja de terreno (que requeriría la construcción del canal), disminuyendo costos y evitando conflicto con los propietarios. Pero, los requerimientos constructivos demandarán tecnología de mayor nivel y los riesgos laborales serán altos, debido a su longitud, para los obreros que estén directamente involucrados en esa actividad, de ahí su alta calificación negativa durante la construcción.

El control de flujo del río Alambi y en el río Tulipe, tiene implicaciones con el proceso constructivo, las previsiones para el desvío del río, la construcción de azudes y dos bocatomas, que en caso de ser negligente puede ocasionar

pérdidas materiales e incluso vidas humanas. Los diseños y materiales empleados deben garantizar su utilización a lo largo de su vida útil.

La construcción de las obras civiles que demanda el proyecto de la central hidroeléctrica Tulipe debe ser acompañada por arqueólogos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) y del FONSAL del Distrito Metropolitano de Quito, para que en caso de encontrar vestigios de la cultura Yumbo, puedan ser recuperados de manera que la técnica lo exige.

La visualización de las actividades del proyecto en la fase de operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Tulipe, en la matriz de calificación de impactos ambientales (pág. 40), permite observar lo siguiente:

B5. Control del Flujo del río, es la de mayor valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativa (-39,66). El número total de impactos ambientales suman nueve (9), de los que siete (7) son negativos medios (-) y dos (2) negativos bajos (-).

B1. Llenado de la zona de inundación aguas arriba de la bocatoma, de valor agregado de Calificación Ambiental (CA) negativo (-38,34). El número total de impactos ambientales suman diez (10), de los que siete (7) son negativos (-) medios y tres (3) negativos (-) bajos.

B6. Gestión de la Cuenca, es la de mayor valor agregado de Calificación Ambiental (CA) positiva (+52,06). El número total de impactos ambientales suman doce (12), de los que ocho (8) son medios y cuatro (4) bajos.

Los elementos del ambiente más afectados por las actividades de operación y mantenimiento son:

HC4. Paisaje Estético, con ocho (8) impactos negativos (-), todos medios.

S2. Estabilidad del Suelo, recibe siete (7) impactos negativos, de los que cuatro (4) son medios y tres (3) son bajos.

EC1. Generación de Empleo, en el medio antrópico es al que mayor impactos positivos (+) genera el proyecto en esta fase, total son cuatro (4), donde uno (1) es medio y tres (3) son bajos.

CAPITULO 8

EVALUACION ECONÓMICA Y FINANCIERA A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD

8.1 VOLÚMENES DE OBRA⁴²:

A continuación se detallan los volúmenes de obra de cada uno de los elementos de la Central Hidroeléctrica Tulipe:

Cuadro 8.1: Principales Rubros considerados para la Evaluación de Volúmenes de Obra.

Componente	Resumen de Volumen de Obra	Observaciones
Rubros Generales	Replanteo de todas las obras, expropiaciones, campamentos	El área de expropiación es de 22.40 ha, que incluye la faja de la conducción superficial.
Vías de Acceso	Adecuación de 2 km de vías existentes	No se incluye la vía para mantenimiento de la conducción
	Construcción de 5 km de nuevas vías	
Obra de Captación en el Río Alambi	Toma de rejilla de fondo	
	Ancho de cierre 11 m y altura de azud de 4.50 m	
Obra de Captación en el Río Tulipe	Toma de rejilla de fondo	
	Ancho de cierre 16 m y altura de azud de 2.50 m	
Canal toma-desarenador en el Río Alambi	Canal abierto revestido de hormigón, sección transversal rectangular de 4.0 m x 1.80, L= 116.80 m, pendiente longitudinal = 0.03%	

⁴² Proyecto MEER – EPN. (2008). Informe Económico - Financiero, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

Cuadro 8.1: Continuación.

Canal toma-desarenador en el Río Tulipe	Canal abierto revestido de hormigón, sección transversal rectangular de 1.50 m x 1.50 m, L= 194.30 m, pendiente longitudinal = 0.03%	
Desarenador en el Río Alambi	3 cámaras de sección transversal rectangular de 5.00 m de ancho y 5.80 m de altura efectiva, L _{Total} = 115.40 m	Incluye la transición de entrada y de salida del desarenador
Desarenador en el Río Tulipe	2 cámaras de sección transversal rectangular de 2.50 m de ancho y 3.20 m de altura efectiva, L _{Total} = 46.25 m	Incluye la transición de entrada y de salida del desarenador
Túnel de Trasvase	Túnel sección baúl de 4.10 m de ancho y alto, L _{Total} = 1170.00 m	
Conducción Desarenador – Tanque de carga:	Canal trapezoidal abierto, L = 2820.00 m Pendiente longitudinal 0.7 por mil	El canal está enterrado sus dos terceras partes.
	Vía de mantenimiento: ancho 4.50 m, material granular compactado	
	Estructuras especiales: 13 pasos subfluviales	
	3 vertederos de excesos y sus rápidas de descarga	
	Estabilización de taludes con geosintéticos 12500 m ² .	

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco.

8.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS⁴³:

El presupuesto en el estudio a nivel de prefactibilidad contiene la siguiente información:

- (i) Costo de construcción de la obra civil, incluido el de la adecuación y construcción de vías de acceso y de mantenimiento
- (ii) Costos de adquisición de equipos electro mecánicos, incluido el de la línea de transmisión y de su conexión al SIN (Sistema de Interconexión Nacional).
- (iii) Costos de mitigación de los potenciales impactos ambientales negativos, incluyendo el costo de expropiación de terrenos.

A este nivel de prefactibilidad, para la definición de la inversión requerida para la construcción (costo directo) no se han considerado: (i) costos indirectos, y (ii) costos de administración, operación y mantenimiento del sistema. Estos últimos son evaluados y utilizados, sin embargo, en el análisis de viabilidad financiera del proyecto.

En el análisis de precios unitarios se toma como base fundamental los precios de los materiales de construcción investigados en las fuentes de aprovisionamiento de Nanegal y Quito. En particular, respecto de fuentes de agregados (canteras, zonas de préstamo preferenciales) y de los proveedores de materiales y equipos, se toma en consideración las recomendaciones de las organizaciones y organismos locales de la provincia de Pichincha. Se utiliza la base de datos que disponen a nivel provincial las respectivas Cámaras de la Construcción y los respectivos gremios de Colegios de Ingenieros Civiles.

⁴³ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Económico - Financiero, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

De igual modo, en forma referencial y para comparación, se utiliza la información de otras instituciones importantes, de nivel local y regional, como son los Consejos Provinciales, los Gobiernos Municipales, las Corporaciones de Desarrollo Provincial, las Corporaciones del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, etc.

El presupuesto referencial a nivel de prefactibilidad para la construcción de la Central Hidroeléctrica Tulipe (4,5 MW), desglosado para los principales componentes y rubros se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 8.2: Presupuesto de Prefactibilidad de la Central Tulipe.

No.	Rubro	Costo (US \$)	%	Observaciones
1	Obras generales	154,443	1.4	Campamentos, replanteo
2	Vías de acceso	1,130,000	9	Constr. y adecuación
3	Obras de captación:			
	Río Alambi	657,451	5	
	Río Tulipe	375,696	3	
4	Desripador y desarenador			
	Río Alambi	705,230	6	
	Río Tulipe	87,800	0.7	
5	Aducción:			
	Túnel	2,145,566	18	80% de excavación en roca
	Canal	3,183,054	26	85% de excavación en ladera
6	Tanque de carga	181,111	2.0	
7	Tubería de presión	1,503,018	12	
8	Casa de máquinas y línea			Incl. turbinas, subestación, línea de transmisión y montaje
	Obra civil	40,000	0.4	
	Elementos Electromecánicos	1,774,216	15	
9	Obras de restitución de caudales	32,637	0.3	
10	Medidas de mitigación ambiental	147,163	1.2	Incl. Expropiaciones y educación a población
TOTAL =		12,117,383	100	
Kilowatios instalados =		4496		Dos Turbinas Francis extra rápidas, Q = 11,2 m ³ /s; ΔH = 50 m
Costo por kilowatio instalado =		2,695		
Factor de Planta =		0.75		No se genera a plena capacidad todo el año

Fuente: Informe Económico - Financiero, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

8.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINANCIERA⁴⁴:

En el caso de la Central Hidroeléctrica Tulipe, para analizar la incidencia del monto de la inversión inicial, se plantearon dos variantes técnicas, discutidas al interior del personal técnico principal de la Escuela Politécnica Nacional, a saber: (i) la variante incluyendo el costo de la adecuación de vías existentes y el costo total para la construcción de 5 km de vías nuevas que faciliten al acceso hacia las diferentes zonas de los componentes del proyecto; y, (ii) la variante bajo la hipótesis que el costo de adecuación y de construcción de vías puede ser financiado y ejecutado por un organismo estatal, provincial o regional, como parte del desarrollo sustentable requerido para la zona, sea para mejorar la producción agrícola – ganadera o sea para facilitar la infraestructura del turismo.

Los resultados de la inclusión de estas dos variantes en el análisis económico financiero puede observarse en el mismo Cuadro 8.3, anteriormente señalada. Los indicadores de viabilidad económica y financiera mejoran. La variante sin incluir los costos de adecuación y mejoramiento de vías es la mejor.

Adicionalmente, la evaluación financiera se complementa con un análisis de sensibilidad en el que se incluyen variaciones de variables claves e importantes, tales como:

- Tasa de descuento (valor seleccionado = 7,5%).
- De la producción de energía, en función de diferentes condiciones hidrológicas estimadas (Máximas, Media y Mínimas – períodos seco, normal o lluviosos, expresados por medio de diferentes curvas de duración de caudales medios mensuales). Esta variación incide en la valoración de los beneficios.

⁴⁴ Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Económico - Financiero, Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.

8.4 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS PROYECTOS EN FORMA INDIVIDUAL:

Cuadro 8.3: Análisis de la viabilidad financiera de los proyectos en forma individual.

FINANCIERA	Indicador	Incl. Vías	Sin Vías	<p>Con precios menores a US\$ ctvs 4,71 y US\$ ctvs 4,36, el VAN en ambas alternativas es negativo.</p> <p>Sin embargo, si se toma en cuenta la normativa vigente referente al reconocimiento del CONELEC para generadoras hidroeléctricas con capacidad instalada de hasta 5 MW, que es de US\$ ctvs 5.8, el VAN del proyecto, en su variante 1 con inclusión en los costos de construcción de la vía, sería de US\$ 3.6 millones y una TIR de 11%.</p> <p>Para la variante 2, el precio reconocido por el CONELEC, permitirá obtener una TIR de 12% y un VAN de US\$ 4.7 millones</p>
	Costo directo (prefactibilidad)	12'117.383	10'987.383	
	Costo promedio por kilovatio instalado	2.673	2.422	
	Costo promedio de KWh generado	4,71 ctvs.	4,36 ctvs.	
	Costo anual equivalente	1'393.044	1'287.707	
	VAN ⁴⁵ Beneficios netos	15'838.495	4'418.947	
	TIR ⁴⁶	11,03%	12,2%	
	Tasa de descuento =	7,5%	7,5%	
	Valoración parcial global=	18/25	20/25	

Fuente: Informe Económico - Financiero, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

⁴⁵ Ver Anexo No. 1 Memoria de Cálculo

⁴⁶ Ver Anexo No. 1 Memoria de Cálculo

Cuadro 8.4: Análisis de la viabilidad económica de los proyectos en forma individual.

ECONÓMICA	Indicador	Incl. Vías	Sin Vías	El proyecto presenta una rentabilidad que es atractiva en el sector público. El aprovechamiento tiene carácter de apoyo al desarrollo de la electrificación del sector rural del país; cumple con dos de las funciones del Estado, como son (i) velar por el desarrollo sustentable del sector rural a través de energía limpia, y (ii) ejecutar las medidas de adaptación al cambio climático. Se considera que la construcción de las vías nuevas puede ser ejecutada por otro organismo
------------------	------------------	-------------------	-----------------	--

Fuente: Informe Económico - Financiero, Estudio Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, 2008.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES TÉCNICAS, ECONÓMICAS, FINANCIERAS Y AMBIENTALES DE LOS DOS PROYECTOS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD:

En razón de lo expuesto, se puede concluir que el aprovechamiento hidroenergético del río Alambi, propuesto a nivel de prefactibilidad, cumple satisfactoriamente con los requisitos mínimos impuestos en los análisis de viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental. De este modo, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable puede decidir continuar con los estudios en las siguientes fases de Factibilidad y Diseño Definitivo.

9.1.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Técnicamente en el análisis de la alternativa, se compilan las características y las conclusiones de los estudios de ingeniería básica que definen el tipo de obras requeridas, considerando el volumen de agua a regular, canalizar y conducir así como todas las particularidades relativas a topografía, clima, suelo, longitud del sistema y las condiciones ambientales del área de impacto.

Como uno de los dos pilares técnicos sobre los cuales se sustenta el presente proyecto, se cumple con el objetivo del estudio de reconocimiento geológico-geotécnico, a nivel de prefactibilidad. En este análisis se produce la información

geológica aplicada a la ingeniería, que permite revisar y analizar la actual ubicación de las obras con respecto a posibles riesgos.

Una parte importante del estudio es la evaluación, a nivel de prefactibilidad, de la peligrosidad sísmica y volcánica para la región donde se implantarán el proyecto Alambi-Tulipe; en donde también se consideran posibles fenómenos secundarios asociados con movimientos fuertes del terreno y fenómenos asociados al vulcanismo. Desde el punto de vista hidrológico, la determinación de los caudales firmes es una tarea fundamental para definir la prefactibilidad de los proyectos de generación de energía. Estos aprovechamientos están ligados a secciones específicas de ríos, las mismas que tienen a su vez cuencas de drenaje o de aportación, cuyas propiedades y características climáticas y físico-geográficas inciden directamente en la formación del escurrimiento y del caudal.

La evaluación de la producción de sedimentos de las cuencas y de la erosión de los cauces, así como su estimación en términos de tasas anuales, constituye un objetivo importante del estudio de hidrología, para definir satisfactoriamente el tipo y ubicación de las estructuras de captación del agua.

9.1.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA

Se muestra la participación que tendrían los costos de operación y mantenimiento dentro del costo total del proyecto, que en ambos casos son significativos.

Cuadro 9.1: Costos de operación y mantenimiento.

ALTERNATIVA	COSTO ANUALIZADO US \$	PARTICIPACIÓN COSTO OP. Y M. EN COSTO TOTAL
Incluye la inversión en vías	1'394.838	25%
No incluye la inversión en vías	1'289.500	29%

Elaboración: Santiago Calle, Jorge Jaguaco

El costo por kWh generado es de US\$ ctvs 4,7 - en la primera alternativa - y se reduce a US\$ ctvs 4,3 - en la segunda -, lo que implica que la energía generada se debería vender a niveles iguales o mayores a esos precios para cubrir los costos.

Con precios menores a los indicados, el Valor Actual Neto (VAN) en ambas alternativas es negativo. No obstante, se debe tomar en cuenta la normativa vigente referente al reconocimiento del CONELEC para generadoras hidroeléctricas con capacidad instalada de hasta 5 MW; cuyo valor es de US\$ ctvs 5.8 por kWh. Así, el VAN del proyecto, en su variante con inclusión en los costos de la construcción de la vía, llega a ser US\$ 3.6 millones, para una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 11%. Para la Variante 2, el precio reconocido por el CONELEC permite obtener una TIR de 12% y un VAN de US\$ 4.7 millones.

Adicionalmente, en este tipo de aprovechamientos hidroeléctricos, dada la posibilidad de que sea el Estado el que invierta, si bien es inmediatamente importante cubrir costos financieros, es asimismo imprescindible un análisis exhaustivo cuantificando los beneficios de la sustitución de energía generada con fuentes térmicas, como base para la toma de decisiones de inversión pública. Estos costos evitados de importación de diesel y, en un futuro próximo, - cuando se construya la nueva refinería -, los costos de liberación del consumo interno de diesel para destinar dichos volúmenes a la exportación, así como el subsidio que concede el Estado para generación térmica a través del precio del diesel, constituyen beneficios económicos para el proyecto que deben ser tomados en cuenta.

De igual modo, en la evaluación económica de esta central hidroeléctrica, es válido añadir dentro del análisis para la viabilidad económica – financiera, la cuantificación de beneficios por la reducción de emisiones de CO₂, estimados en cerca de 60 mil toneladas anuales promedio. A un precio de US\$ 100 la tonelada de CO₂ evitada, se podría contar entonces con un ingreso anual de alrededor de US\$ 6 millones al año. Al ser beneficios adicionales del proyecto, no sería

determinante que el precio de la tonelada de CO₂ se reduzca con el tiempo, que de todas maneras va a ser una contribución positiva

9.1.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL:

Se realizó la identificación de Impactos Ambientales, mediante el uso de matrices causa – efecto, para cada uno de los componentes de los proyectos y en las distintas fases de ejecución de los mismos (construcción y operación y mantenimiento).

La Calificación Cuantitativa de los Impactos Ambientales Identificados, cada actividad para la construcción y operación de los componentes del proyecto es desagregada e identificada en una columna de la matriz y se cuantifican los impactos en forma de índices de cambio del ambiente. Para la evaluación cuantitativa de los impactos ambientales identificados, se utiliza el método del valor de impacto ambiental (VIA). Se evalúa y califica considerando los criterios siguientes: Carácter (positivo o negativo), Intensidad (alta, media o baja), Duración (temporal, permanente o periódica), Reversibilidad (reversible o irreversible), Riesgo (potencial o real), Área de Influencia (puntual, local o regional).

Se debe anotar que este proyecto es factible desde el punto de vista ambiental, pero es muy sensible a la regulación del caudal para la generación en el proyecto hidroeléctrico Palmira, que tiene las autorizaciones pertinentes para su ejecución. Los caudales base de los ríos Alambi y Tulipe, serán determinantes para el funcionamiento del proyecto hidroeléctrico Tulipe, y para no afectar a los usos aguas abajo (caudales ecológicos).

Finalmente, el proyecto ha sido declarado viable desde el punto de vista ambiental, en razón de que la sumatoria de la calificación de los impactos

ambientales positivos, en la matriz causa – efecto, es mayor a la sumatoria de los impactos ambientales negativos.

9.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA VARIACIÓN DE LAS DIFERENTES VARIABLES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS:

Considerado en el análisis de viabilidad económica, es la conveniencia de ser un proyecto pequeño, como es el caso de la central Tulipe. La contribución del mismo a la descentralización del sistema de generación es relevante, por más pequeño que sea el tamaño relativo, dado que reduce el riesgo de desabastecimiento de la población vecina al no depender solamente de las centrales grandes.

Los resultados del análisis financiero se consideran aceptables. Los del análisis económico confirman la conveniencia de la ejecución de este proyecto, de ser posible, con la Variante 2. En caso de encontrar un inversionista para la adecuación y construcción de las vías, igualmente puede ser la Variante 1.

La evaluación económica - financiera en el proyecto se complementa con el análisis de sensibilidad, en donde se ha incluido fundamentalmente: (i) la variante desarrollada bajo la hipótesis de que las vías serán arregladas y construidas sin cargo al proyecto; y, (ii) la variación en la tasa de descuento y en la producción de energía considerando la curva de duración de los caudales medios mensuales

9.3 RECOMENDACIONES PARA LAS SIGUIENTES FASES DE LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO:

- El llenado de la zona de inundación aguas arriba de las bocatomas es un impacto irreversible, que merece ser analizado en la fase de factibilidad, para su utilización en actividades recreativas, acordes al potencial de la

zona en que se inserta el proyecto. Para ello es necesario financiamiento y grupos de trabajo, que no necesariamente debe estar a cargo de éste proyecto, pero sí la iniciativa en mayor grado de desarrollo (en la fase de factibilidad). El FONSAL del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, deberá ser informado en esa fase del proyecto, puesto que existe la posibilidad de apareamiento de vestigios de la cultura Yumbo, investigación que realiza la entidad municipal a través del proyecto Tulipe.

- Los riesgos de deslizamientos del terreno pueden inutilizar la línea de transmisión de energía, de ahí que en los estudios de factibilidad se requieren estudios suficientes de la parte geológica, de suelos y geotécnica, para una mejor toma de decisiones en el escogimiento de la ruta.
- Al momento del diseño de las obras hidráulicas se deberá tomar en cuenta si la utilización de una obra de toma de fondo es la más óptima y si el azud es indispensablemente del tipo umbral.
- Definir una de las alternativas planteadas, las cuales implican la inversión o no en vías
- La evaluación de los sedimentos en suspensión se realizó con datos de campo del río Alambi en Churupamba. En base a recomendaciones de estudios para la zona, se consideró la carga de arrastre, igual al 50 % de la carga de sedimentos en suspensión. Se estimó una carga total anual media de 229.210 ton/año de sedimentos para el río Alambi en la captación, y 38.219 ton/año para el río Tulipe, Captación.
- Actualmente el servicio eléctrico en este sector no es muy regular. Se presentan múltiples cortes de energía, tanto por fallas internas del sistema como por condiciones ambientales.

ANEXOS

ANEXO No. 1
MEMORIA TÉCNICA

CONTENIDO

1.	OBRA DE TOMA:	119
1.1	Diseño de reja en el río Alambi:.....	119
1.2	Diseño de galerías en el río Alambi:.....	120
1.3	Diseño del perfil en el río Alambi:	122
1.4	Diseño del cuenco disipador en el río Alambi:.....	123
1.5	Diseño del enrocado en el río Alambi:.....	125
1.6	Diseño de reja en el río Tulipe:.....	125
1.7	Diseño de galerías en el río Tulipe:	126
1.8	Diseño del perfil en el río Tulipe:	129
1.9	Diseño del cuenco disipador en el río Tulipe:.....	130
1.10	Diseño del enrocado en el río Tulipe:.....	131
1.11	Diseño del canal entre la bocatoma y el desarenador para la captación en Tulipe y Alambi:.....	131
2.	DESARENADOR:.....	132
2.1	Proceso de Cálculo:	132
2.2	Valores obtenidos para el Desarenador en el Río Alambi:	134
2.3	Valores obtenidos para el Desarenador en el Río Tulipe:	135
3.	TRANSICIÓN Y TANQUE DE PRESIÓN	137
4.	TANQUE DE PRESION:.....	138
4.1	Entrada de aire	138
4.2	Volumen del tanque de presión.	139
4.3	Rejilla.....	140
5.	TUBERÍA DE PRESIÓN.....	141
5.1	Cálculo de diámetro.....	141
5.2	Variación del diámetro.....	142
5.3	Cálculo de costos y amortización	143
5.4	Cálculo de la amortización.....	144
5.5	Número de tuberías	145
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO.....	1456
7.	CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN	145

1. OBRA DE TOMA:

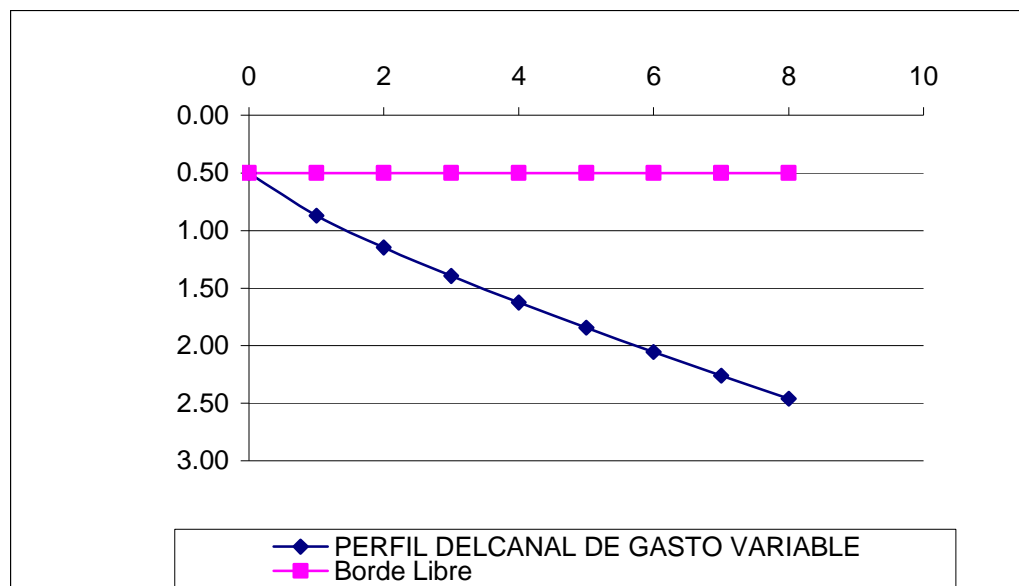
1.1 Diseño de reja en el río Alambi:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q(cap)	11.50	m ³ /s	Caudal de diseño
	Br=	17	m	Ancho del río en el lugar de la captación
	I=	0.055	m/m	Pendiente del río en el sitio de la toma
	n=	0.03		Coefficiente de manning para la sección del río
Cálculos	h'=	0.23	m	calado aguas arriba de la toma
	V (río)	2.90	m/s	
	Ho=	0.66	m	Nivel mínimo de aguas en época de estiaje+ Carga de Velocidad
Datos escogidos	μ=	0.63		Coefficiente de derrame de la rejilla según el tipo
	a=	0.05	m	Espaciamiento de las barras de la rejilla
	d=	0.08	m	Distancia entre ejes de las barras (depende de perfil o sección escogida ver tabla No 2)
	β	12.00	°	Ángulo de inclinación de las rejillas
	x=	0.90		Valor de acuerdo a β
Cálculos	h=	0.40	m	Altura Inicial de Agua sobre rejas
	C=	0.36		Según Frank
	Sustitución en la Ecuación			
	$Q_{(cap)} = \frac{2}{3} * C * \mu * B * L * \sqrt{2gh}$			Ecuación que permite calcular el derrame por la rejilla en función de b y L dimensiones de la reja
	Iterando se tiene:			
	b=	8	m	Distancia longitudinal de la reja
	L=	3	m	Ancho de la reja
	Dimensiones Constructivas:			
	b=	8	m	Dimensiones constructivas
	L=	3	m	Dimensiones constructivas

1.2 Diseño de galerías en el río Alambi:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
DATOS	Q(d)	11.50	m ³ /s	Caudal de diseño
	Vd=	2.00	m/s	Velocidad requerida en la galería
	m=	0.20		Los valores de m menores son para pendientes fuertes que necesita gran cantidad de arrastre de material (0.2)
	L=	3.00	m	Ancho de la reja
	b=	8.00	m	Distancia longitudinal de la reja
CÁLCULOS	B=	2.90	m	B= base de la galería, $\theta=\beta$ ángulo de inclinación de la rejilla
	$\Omega u=$	5.75	m ²	
	hu=	1.96	m	Calado presente al final de la galería
	V(comprobación)=	OK		Vcomp<=Vgal
CÁLCULOS	SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA GALERÍA:			
	a=	1.32		b= distancia longitudinal de la reja
	z=	$Z = \frac{m+1}{m} * \frac{a^2}{2g} * X^{2m}$	m	X=distancia determinada para encontrar coordenadas del canal de gasto variable, g= gravedad, Z= calado libre de aereación
	hx=	0.50	m	b=distancia longitudinal de la reja hx=calado , altura mínima para evitar ahogamiento en cámara

X	Z	H _x	Z+H _x
0	0.50	0.00	0.50
1	0.50	0.37	0.87
2	0.50	0.65	1.15
3	0.50	0.89	1.39
4	0.50	1.13	1.63
5	0.50	1.35	1.85
6	0.50	1.56	2.06
7	0.50	1.76	2.26
8	0.50	1.96	2.5



	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q(dis)	11.50	m ³ /s	Caudal de Diseño
	L=	3	m	Longitud de la reja
	I=	0.13	m/m	Pendiente de la segunda galería
Cálculos	qu=	1.44	m ³ /s	Caudal Unitario
	μ=	0.92		Coefficiente de corrección para el vertedero de cresta circular y talud vertical (Referencia Hidráulica General Sotelo)
	h=	0.65	m	Q(cal) = caudal unitario, g=gravedad L(u)= 1m, h= carga sobre el vertedero
	y=	1.30	m	y= altura del vertedero

CÁLCULOS ANCHO DE LA SEGUNDA GALERÍA				
Cálculos	h1=	0.43	m	Calado de la segunda galería menor que la altura del vertedero para evitar ahogamiento
	B1=	2.450	m	Ancho impuesto de la segunda galería
	qu=	1.440	m ³ /s	Rh= radio hidráulico, l= pendiente de la galería, A=area (Se recomienda ir variando el h1 y B1 hasta obtener el qu para la sección)
	COMPROBAMOS CAUDAL DE SALIDA			
	V=	11.21	m/s	Velocidad en la segunda galería
	Qcap=	11.8	m ³ /s	Caudal captado por la galería

1.3 Diseño del perfil en el río Alambi:

Relación de la vertical:	2/3
Ho=	6.52
De abaco pag 304 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS	
$\frac{ha}{Ho}$	= 0
K	= 0.52
De abaco pag 304 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS	
n=	1.8
De abaco pag 305 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS	
$\frac{Xc}{Ho}$	= 0.214
Xc=	1.4
De abaco pag 305 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS	
$\frac{Yc}{Ho}$	= 0.068
Yc=	0.4

La Ecuación de Cálculo es:

$$\frac{y}{H_o} = -k \left(\frac{X}{H_o} \right)^n$$

X	Y
0	0
1	-0.1
2	-0.4
3	-0.8
4	-1.4

1.4 Diseño del cuenco disipador en el río Alambi:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Caudal Máximo de Crecida	260.00	m ³ /s	Caudal con Período de retorno de 25 años
	Q(cap)	11.50	m ³ /s	
	I=	0.055	m/m	Pendiente del río
	B=	17.00	m	Ancho del río en la sección
	W	4.70	m	Nivel de Aguas Normales

Cálculos	h=	4.3	m	calado sobre vertederos (PRINCIPIO DE CAUDAL MÁXIMO DE BELANGER)
	h1=	1.3	m	Determinación del nivel (tirante) de agua h1
	h2=	5.44	m	Determinación del nivel (tirante) de agua h2
	CÁLCULO DE NIVEL AGUAS ABAJO DEL RÍO			
	Q (estimado)	248.50	m ³ /s	
	hu=	2.30	m	Calado aguas abajo del río
	ANÁLISIS DE RESALTO			
	Rechazado Peligro Estructura			
	CALCULO DEL COLCHON AMORTIGUADOR			
	Longitud Resalto (Lr)	20.7	m	Longitud del resalto
	S (Altura del Diente)	3.2	m	Altura de profundización del cuenco
	Wn=	7.9	m	Nivel de Aguas Normales después de la profundización
	h1 (nuevo)=	1.31	m	
	h2 (nuevo)	5.45	m	Calado conjugado nuevo
	hu(nuevo)=	5.5	m	calado de aguas abajo del río
Lresalto(final)=	15	m	Longitud de resalto requerido al final	

Nota: Se ha adoptado un caudal máximo de 260 m³/s, para el cual está dimensionada la estructura, en caso de caudal de máxima crecida con período de retorno de 25 años se recomienda serrar todas las estructuras y detener la generación durante el período.

1.5 Diseño del enrocado en el río Alambi:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q máx crecida	260.00	m ³ /s	Caudal de máxima crecida
	hu=	5.50	m	Nuevo calado del río aguas abajo del cuenco de disipación
	Br=	17.00	m	Ancho de la sección donde se implantará la obra de toma
Cálculos	Ve	3	m/s	Velocidad de Enrocado
	$\phi_{\text{enrocado}} =$	0.5	m	Diámetro del enrocado obtenido de la tabla 9.20 de PRACTICAL HYDRAULICS

1.6 Diseño de reja en el río Tulipe:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q(cap)	1.40	m ³ /s	Caudal de diseño
	Br=	6	m	Ancho del río en el lugar de la captación
	l=	0.025	m/m	Pendiente del río en el sitio de la toma
	n=	0.03		Coefficiente de manning para la sección del río
Cálculos	h'=	0.16	m	calado aguas arriba de la toma
	V (río)	1.50	m/s	
	Ho=	0.27	m	Nivel mínimo de aguas en época de estiaje+ Carga de Velocidad
Datos escogidos	$\mu=$	0.63		Coefficiente de derrame de la rejilla según el tipo
	a=	0.05	m	Espaciamiento de las barras de la rejilla
	d=	0.08	m	Distancia entre ejes de las barras (depende de perfil o sección escogida ver tabla No 2)
	β	12.00	°	Ángulo de inclinación de las rejillas
	X=	0.896		Valor de acuerdo a β

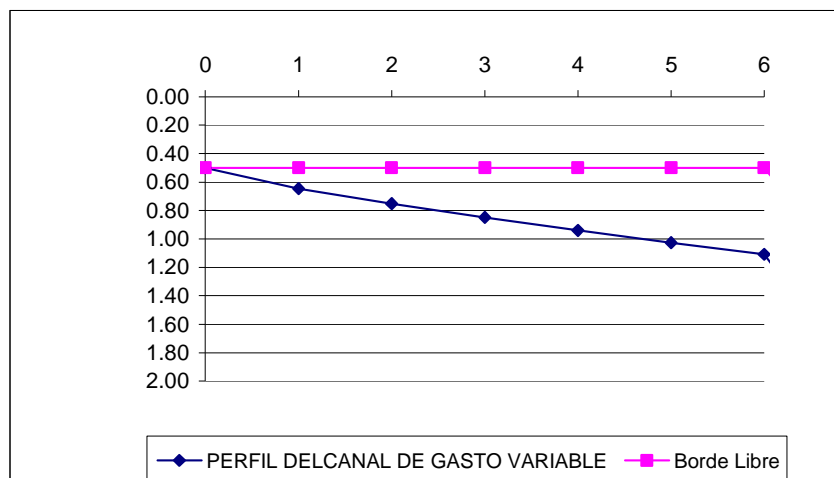
Cálculos	h=	0.16	m	Altura Inicial de Agua sobre rejas
	C=	0.36		Según Frank
	Sustitución en la Ecuación			
	$Q_{(cap)} = \frac{2}{3} * C * \mu * B * L * \sqrt{2gh}$			Ecuación que permite calcular el derrame por la rejilla en función de b y L dimensiones de la reja
	Iterando se tiene:			
	b=	6	m	Distancia longitudinal de la reja
	L=	1.2	m	Ancho de la reja
	Dimensiones Constructivas:			
	b=	6	m	Dimensiones constructivas
	L=	1.2	m	Dimensiones constructivas

1.7 Diseño de galerías en el río Tulipe:

Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Q(d)	1.40	m ³ /s	Caudal de diseño
Vd=	2.00	m/s	Velocidad requerida en la galería
m=	0.20		Los valores de m menores son para pendientes fuertes que necesita gran cantidad de arrastre de material (0.2)
L=	1.20	m	Ancho de la reja
b=	6.00	m	Distancia longitudinal de la reja
B=	1.15	m	B= base de la galería, $\theta = \beta$ ángulo de inclinación de la rejilla
$\Omega u =$	0.70	m ²	

hu=	0.61	m	Calado presente al final de la galería
V(comprobación)=	OK		Vcomp<=Vgal
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA GALERÍA:			
a=	1.40		b= distancia longitudinal de la reja
z=	$Z = \frac{m+1}{m} * \frac{a^2}{2g} * X^{2m}$	m	X=distancia determinada para encontrar coordenadas del canal de gasto variable, g= gravedad, Z= calado libre de aereación
hx=	$hx = hu * \left(\frac{X}{b}\right)^{1-m}$	m	b=distancia longitudinal de la reja hx=calado

COORDENADAS DEL CANAL DE GASTO VARIABLE:			
X	Z	Hx	Z+Hx
0	0.50	0.00	0.50
1	0.50	0.15	0.65
2	0.50	0.25	0.75
3	0.50	0.35	0.85
4	0.50	0.44	0.94
5	0.50	0.53	1.03
6	0.50	0.61	1.1



	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q(dis)	1.40	m ³ /s	Caudal de Diseño
	L=	1.2	m	Longitud de la reja
	I=	0.07	m/m	Pendiente de la segunda galería
Cálculos	qu=	0.23	m ³ /s	Caudal Unitario
	μ=	0.74		Coefficiente de corrección para el vertedero de cresta circular y talud vertical (Referencia Hidráulica General Sotelo)
	h=	0.22	m	Q(cal) = caudal unitario, g=gravedad L(u)= 1m, h= carga sobre el vertedero
	y=	0.40	m	y= altura del vertedero

CÁLCULOS ANCHO DE LA SEGUNDA GALERÍA					
Cálculos	h1=	0.23	m	Calado de la segunda galería menor que la altura del vertedero para evitar ahogamiento	
	B1=	1.250	m	Ancho impuesto de la segunda galería	
	qu=	0.230	m ³ /s	Rh= radio hidráulico, I= pendiente de la galería, A=area (Se recomienda ir variando el h1 y B1 hasta obtener el qu para la sección)	
	COMPROBAMOS CAUDAL DE SALIDA				
	V=	5.37	m/s	Velocidad en la segunda galería	
Qcap=	1.5	m ³ /s	Caudal captado por la galería		

1.8 Diseño del perfil en el río Tulipe:

Relación de la vertical: $\frac{2}{3}$

$H_o = 2.34$

De abaco pag 304 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS

$$\frac{h_a}{H_o} = 0$$

$K = 0.52$

De abaco pag 304 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS

$n = 1.801$

De abaco pag 305 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS

$$\frac{X_c}{H_o} = 0.214$$

$X_c = 0.50076$

De abaco pag 305 Diseño de PRESAS PEQUEÑAS

$$\frac{Y_c}{H_o} = 0.068$$

$Y_c = 0.15912$

La Ecuación de Cálculo es:

$$\frac{y}{H_o} = -k \left(\frac{X}{H_o} \right)^n$$

X	Y
0	0
1	-0.26318519
2	-0.91709952
3	-1.90351727
4	-3.19574035

1.9 Diseño del cuenco dissipador en el río Tulipe:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Caudal Máximo de Crecida	62.00	m ³ /s	Caudal con Período de retorno de 25 años
	Q(cap)	1.40	m ³ /s	
	I=	0.025	m/m	Pendiente del río
	B=	6.00	m	Ancho del río en la sección
	W	2.00	m	Nivel de Aguas Normales
Cálculos	h=	3.09	m	calado sobre vertederos (PRINCIPIO DE CAUDAL MÁXIMO DE BELANGER)
	h1=	1.25	m	Determinación del nivel (tirante) de agua h1
	h2=	3.6	m	Determinación del nivel (tirante) de agua h2
	CÁLCULO DE NIVEL AGUAS ABAJO DEL RÍO			
	Q (estimado)	60.60	m ³ /s	
	hu=	2.45	m	Calado aguas abajo del río
	ANÁLISIS DE RESALTO			
	Rechazo Peligro Estructura			
	CALCULO DEL COLCHON AMORTIGUADOR			
	Longitud Resalto (Lr)	11.7	m	Longitud del resalto
	S (Altura del Diente)	1.2	m	Altura de profundización del cuenco
	Wn=	3.2	m	Nivel de Aguas Normales después de la profundización
	h1 (nuevo)=	1.26	m	
	h2 (nuevo)	3.62	m	Calado conjugado nuevo
	hu(nuevo)=	3.65	m	calado de aguas abajo del río
Lresalto(final)=	13.5	m	Longitud de resalto requerido al final	

1.10 Diseño del enrocado en el río Tulipe:

	Símbolo	Expresión de Cálculo	Unidades	Observaciones
Datos	Q máx crecida	62.00	m ³ /s	Caudal de máxima crecida
	hu=	3.65	m	Nuevo calado del río aguas abajo del cuenco de disipación
	Br=	6.00	m	Ancho de la sección donde se implantará la obra de toma
Cálculos	Ve	2.8	m/s	Velocidad de Enrocado
	$\phi_{\text{enrocado}} =$	0.45	m	Diámetro del enrocado obtenido de la tabla 9.20 de PRACTICAL HYDRAULICS

1.11 Diseño del canal entre la bocatoma y el desarenador para la captación en Tulipe y Alambi:

Lugar: PROVINCIA PICHINCHA **Proyecto:** TULIPE(ALAMBI) 

Tramo: 1 **Revestimiento:** HORMIGÓN


Datos:

Caudal (Q): 11.5 m³/s
 Ancho de solera (b): 4 m
 Talud (Z): 0
 Rugosidad (n): 0.015
 Pendiente (S): 0.0003 m/m



Resultados:

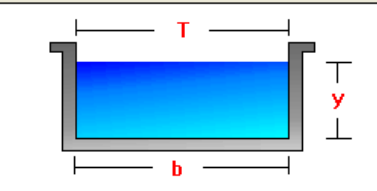
Tirante normal (y): 2.3612 m Perímetro (p): 8.7224 m
 Área hidráulica (A): 9.4448 m² Radio hidráulico (R): 1.0828 m
 Espejo de agua (T): 4.0000 m Velocidad (v): 1.2176 m/s
 Número de Froude (F): 0.2530 Energía específica (E): 2.4368 m-Kg/Kg
 Tipo de flujo: Subcrítico

Lugar: PROVINCIA PICHINCHA **Proyecto:** TULIPE(TULIPE) 

Tramo: 1 **Revestimiento:** HORMIGÓN

Datos:

Caudal (Q): 1.4 m³/s
 Ancho de solera (b): 1.5 m
 Talud (Z): 0
 Rugosidad (n): 0.015
 Pendiente (S): 0.0003 m/m



Resultados:

Tirante normal (y): 1.3213 m Perímetro (p): 4.1427 m
 Área hidráulica (A): 1.9820 m² Radio hidráulico (R): 0.4784 m
 Espejo de agua (T): 1.5000 m Velocidad (v): 0.7063 m/s
 Número de Froude (F): 0.1962 Energía específica (E): 1.3468 m-Kg/Kg
 Tipo de flujo: Subcrítico

2. DESARENADOR:

2.1 Proceso de Cálculo:

Valores Calculados	No.	Símbolo	Unidad	Expresión de Cálculo
Cámara desarena-dora	18	A	m ²	$A = \frac{Q_d}{V}$
	19	B _{calc}	m	$B_{calc} = \sqrt{\frac{A}{r}}$
	20	B	m	El valor de B _{calc} es mínimo y puede ajustarse a dimensiones constructivas
	21	h _c	m	$h_c = \frac{A}{B}$
	22	u	m/s	$u = 0.152 \cdot W$
	23	L _c	m	$L_c = \frac{h_c \cdot V}{W - u}$
	24	L	m	El valor de L _c es mínimo y puede ajustarse a dimensiones constructivas
	25	B _T	m	$B_T = N \cdot B + (N + 1) \cdot b_p$
Transición entrada	26	b _{tr}	m	$b_t = \frac{B_T - b_{cap}}{2}$
	27	L _{tr calc}	m	$L_{tr calc} = \frac{b_t}{tg\alpha}$
	28	L _{tr e}	m	El valor de L _{tr calc} es mínimo y puede ajustarse a dimensiones constructivas
	29	α _{corr}	°	$\alpha_{corr} = tg^{-1} \left(\frac{b_{tr}}{L_{tr e}} \right)$
Transición salida	30	B _{Ts}	m	$B_{Ts} = B_T + 2 \cdot b_{rec}$
	31	b _{tr}	m	$b_{tr} = \frac{B_{Ts} - b_t}{2}$
	32	L _{tr calc}	m	$L_{tr calc} = \frac{b_t}{tg\alpha}$
	33	L _{tr s}	m	El valor de L _{tr calc} es mínimo y puede ajustarse a dimensiones constructivas
	34	α _{corr}	°	$\alpha_{corr} = tg^{-1} \left(\frac{b_{tr}}{L_{tr e}} \right)$

Valores Calculados	No.	Símbolo	Unidad	Expresión de Cálculo
Vertedero	35	L_v	m	$L_v = \frac{Q_d}{Cd_v \cdot H^{3/2} \sqrt{2 \cdot g}}$
	36	b_{ef}	m	$b_{ef} = B - (2 \cdot n - 1) \cdot b_{pv}$
	37	$L_{l \text{ calc}}$	m	$L_{l \text{ calc}} = \frac{L_v}{2 \cdot n}$
	38	L_l	m	El valor de $L_{l \text{ calc}}$ es mínimo y puede ajustarse a dimensiones constructivas
	39	b_1	m	$b_1 = \frac{b_{ef}}{2 \cdot n}$
	40	$L_{L \text{ calc}}$	m	$L_{L \text{ calc}} = \sqrt{L_l^2 - b_1^2}$
	41	θ	o	$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{b_1}{L_{L \text{ calc}}} \right)$
Desarena- dor	42	L_T	m	$L_T = L + L_{tre} + L_{trs} + L_{L \text{ calc}}$
	43	h_f	m	$h_f = \frac{2}{3} \cdot S_o \cdot L$
	44	h_T	m	$h_T = h_c + h_f$
	45	V_s	m ³	$V_s = \frac{1}{3} \cdot B \cdot L \cdot h_f$
	46	V	m ³	$V = B \cdot L \cdot h_c$
	47	V_T	m ³	$V_T = V_s + V$
Orificio de Limpieza	48	b_o	m	El valor de b_o debe ser escogido de acuerdo a la cantidad de agua almacenada sin ser menor a 0.80 m por razones constructivas.
	49	A_p	m ²	$A_p = \frac{V_T}{h_T}$
	50	T	seg	$t = \frac{2 \cdot A_p}{Cd_o \cdot b_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_c - b_o/2)}}$
			min	$T = \frac{t}{60}$
	51	Q_L	m ³ /s	$Q_L = \frac{V_T}{t}$
	52	a	m	El valor de a se calculó utilizando el programa Flow Master
	53	A_o	m ²	$A_o = b_o \cdot a$
	54	V_L	m/s	El valor de V_L se obtuvo del cálculo realizado con el programa Flow Master

2.2 Valores obtenidos para el Desarenador en el Río Alambi:

Datos de diseño	No.	Símbolo	Unidad	Diseño
Generales	1	Q_d	m^3/s	5.00
	2	V	m/s	0.20
	3	r	m	1.00
	4	d	mm	0.20
	5	W	cm/s	2.16
			m/s	0.0216
Transición	6	b_p	m	0.30
	7	b_t	m	3.50
	8	b_{cap}	m	4.00
	9	α	o	12.50
	10	N	-	3.00
Vertedero	11	n	-	4.00
	12	H	m	0.20
	13	C_{dv}	-	0.50
	14	b_{rec}	m	0.30
	15	b_{pv}	m	0.20
Orificio de limpieza	16	S_o	m/m	0.05
	17	C_{do}	-	0.60

Valores Calculados	No.	Símbolo	Unidad	Diseño
Cámara desarenadora	18	A	m^2	25.00
	19	B_{calc}	m	5.00
	20	B	m	5.00
	21	h_c	m	5.00
	22	u	m/s	0.0033
	23	L_c	m	54.59
	24	L	m	54.60
	25	B_T	m	16.20
Transición entrada	26	b_{tr}	m	6.10
	27	$L_{tr\ calc}$	m	27.52
	28	$L_{tr\ e}$	m	27.60
	29	α_{corr}	o	12.46
Transición salida	30	B_{Ts}	m	16.80
	31	b_{tr}	m	6.65
	32	$L_{tr\ calc}$	m	30.00
	33	$L_{tr\ s}$	m	30.00
	34	α_{corr}	o	12.50

Valores Calculados	No.	Símbolo	Unidad	Diseño
Vertedero	35	L_v	m	25.24
	36	b_{ef}	m	3.60
	37	$L_{l\text{ calc}}$	m	3.16
	38	L_l	m	3.20
	39	b_1	m	0.45
	40	$L_{l\text{ calc}}$	m	3.17
	41	θ	°	8.08
Desarena- dor	42	L_T	m	115.37
	43	h_f	m	1.82
	44	h_T	m	6.82
	45	S_1	m/m	0.100
	45	V_s	m^3	165.62
	46	V	m^3	1365.00
	47	V_T	m^3	1530.62
Orificio de Limpieza	48	b_o	m	1.20
	49	A_p	m^2	225.00
	50	T	seg	57.00
			min	0.95
	51	Q_L	m^3/s	26.85
	52	Q_c	m^3/s	26.85
	53	a_{calc}	m	1.05
	52	a	m	1.60
	53	A_o	m^2	1.92
54	V_L	m/s	5.43	

2.3 Valores obtenidos para el Desarenador en el Río Tulipe:

Datos de diseño	No.	Símbolo	Unidad	Diseño
Generales	1	Q_d	m^3/s	1.20
	2	V	m/s	0.20
	3	r	m	1.00
	4	d	mm	0.20
	5	W	cm/s	2.16
			m/s	0.0216
6	b_p	m	0.20	
Transición	7	b_t	m	2.20
	8	b_{cap}	m	1.50
	9	α	°	12.50
	10	N	-	2.00
Vertedero	11	n	-	2.00
	12	H	m	0.20
	13	C_{dv}	-	0.50
	14	b_{rec}	m	0.30
	15	b_{pv}	m	0.20
Orificio de limpieza	16	S_o	m/m	0.05
	17	C_{do}	-	0.60

Valores Calculados	No.	Símbolo	Unidad	Diseño
Cámara desarena-dora	18	A	m ²	6.00
	19	B _{calc}	m	2.45
	20	B	m	2.50
	21	h _c	m	2.40
	22	u	m/s	0.0033
	23	L _c	m	26.21
	24	L	m	26.30
	25	B _T	m	5.60
Transición entrada	26	b _{tr}	m	2.05
	27	L _{tr calc}	m	9.25
	28	L _{tr e}	m	9.30
	29	α _{corr}	o	12.43
Transición salida	30	B _{Ts}	m	6.20
	31	b _{tr}	m	2.00
	32	L _{tr calc}	m	9.02
	33	L _{tr s}	m	9.10
	34	α _{corr}	o	12.40
Vertedero	35	L _v	m	6.06
	36	b _{ef}	m	1.90
	37	L _{l calc}	m	1.51
	38	L _l	m	1.60
	39	b ₁	m	0.48
	40	L _{L calc}	m	1.53
	41	θ	o	17.27
Desarena-dor	42	L _T	m	46.23
	43	h _f	m	0.88
	44	h _T	m	3.28
	45	S ₁	m/m	0.100
	45	V _s	m ³	19.21
	46	V	m ³	157.80
	47	V _T	m ³	177.01
Orificio de Limpieza	48	b _o	m	1.00
	49	A _p	m ²	55.00
	50	T	seg min	69.00 1.15
	51	Q _L	m ³ /s	2.57
	52	Q _c	m ³ /s	2.57
	53	a _{calc}	m	0.86
	52	a	m	1.40
	53	A _o	m ²	1.40
	54	V _L	m/s	6.92

3. TRANSICIÓN Y TANQUE DE PRESIÓN

La transición es una estructura en la cual el cambio de sección se la realiza de forma gradual con el propósito de evitar pérdidas de carga demasiadas altas.

De acuerdo, al Bureau of Reclamation de los Estados Unidos se recomienda que el ángulo máximo entre el eje y una línea que une los lados de la transición a la entrada y a la salida sea de 12.5°. Esto permite de determinar la longitud (L) de la misma.

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 * \tan(\alpha)}$$

Donde:

b_1 : ancho mayor

b_2 : ancho menor

α : ángulo de 12.5°

Con el propósito de disminuir las pérdidas que se presentan con cambios bruscos de dirección, se recomienda redondear las esquinas; una de las formas más usadas es la de usar arcos tangentes a la entrada y a la salida a las alineaciones del canal.

El radio de los arcos será obtenido de la ecuación:

$$R = \frac{L}{2 * \sin(2\alpha)}$$

4. TANQUE DE PRESION:

4.1 Entrada de aire

$$h = 10 * \frac{V^2}{2g}$$

Y aplicando la ecuación de Bernoulli entre la superficie del tanque de presión y la sección contraída, además de las pérdidas que se producen en un orificio, se tiene:

$$\frac{P_{atm}}{W} + h = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{W} + hf = \frac{3}{2} \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{W}$$

Entonces, como la principal necesidad es que no entre aire entonces se presenta la siguiente ecuación.

$$h = \frac{3}{2} \frac{V^2}{2g} = k \frac{V^2}{2g}$$

En las tuberías generalmente se presentan velocidades entre: 2m/s a 8m/s. Por lo tanto, la altura h puede variar entre 0.31m a 4.90 m.

En la práctica se recomienda de k varíe entre 2 y 3 y que h no debe bajar de 1m.

$$h > 0.50D * \left(\frac{V}{2D} \right)^{0.55}$$

Siendo: V velocidad de entrada al tanque

D diámetro de la tubería de presión a la entrada

h altura mínima para evitar la entrada de aire

g aceleración de la gravedad.

4.2 Volumen del tanque de presión.

Para determinar este valor es necesario conocer:

- El caudal que se va a entregar.
- La sección de canal, túnel o tubería que llega al tanque.
- La pendiente del canal.

Con los datos obtenidos del paquete FlowMaster se determinan los datos de área de la sección mojada y el perímetro mojado de la sección de canal o túnel que llega al tanque. Se determinará la velocidad v .

$$M = \frac{0.693 * A * V_o^2}{i * g}$$

Siendo: V_o velocidad de entrada al tanque

A área mojada de la sección

i pendiente del canal

g aceleración de la gravedad.

M volumen necesario máximo del tanque de presión.

Para el correcto funcionamiento de las turbinas es necesario que exista un tiempo mínimo necesario antes de parar, este tiempo debe estar directamente relacionado al volumen necesario máximo del tanque de presión,

$$T = \frac{M}{Q}$$

Siendo: T tiempo que genera el volumen del tanque

M volumen necesario máximo del tanque de presión.

Q caudal que entra al tanque de presión.

$$M = \frac{Q}{T_{\text{Recomendado}}}$$

4.3 Rejilla

La separación entre barros está en función del tipo de turbina que se requiera; Sokolov recomienda:

Separación entre rejillas	
Tipo de turbina	S RECOMENDADA (mm)
Turb. de hélice	50 - 200
Turb. Francis	32 - 100
Turb. Pelton	20 - 65

La inclinación de la rejilla estará en relación con la forma como se realizará la limpieza de ésta, entonces se tiene:

Tipo de limpieza	
Tipo limpieza	A RECOMENDADA (°)
A mano	50 - 55
Mecánica	70 - 76

La pérdida que se produce en la rejilla se determina con la fórmula de Kirschmer:

$$hf = B * \left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \sin A$$

Siendo: hf pérdida que se produce en la rejilla
 T grueso del barrote
 S separación entre barros

V velocidad de aproximación. En general, entre 0.5 a 1.2 m/s, pero en obras grandes puede llegar a ser de 2.5 m/s.

A ángulo de la rejilla.

g aceleración de la gravedad.

B Coeficiente que depende del tipo de los barrotes.

Coeficiente de forma del barrote	
Tipo	B
Sección Rectangular	2.42
Red. Esquinas	1.83

5. TUBERÍA DE PRESIÓN

5.1 Cálculo de diámetro.

El diámetro de la tubería se lo determina en base a un estudio económico; considerando que al aumentar el diámetro se disminuyen las pérdidas generadas. Para lo cual es necesario calcular la potencia.

$$N = \frac{Q * (H - hf) * e}{102}$$

Siendo: N potencia generada (Kw)

hf pérdida que se produce en la tubería (m)

H carga bruta (m)

Q caudal (m³/s)

e factor de eficiencia (m/m)

Las pérdidas que se generan en la tubería por la fricción.

$$hf = 6.35 \frac{n^2 LV^2}{d^{4/3}}$$

Siendo: h_f pérdida que se produce en la tubería (m)

n coeficiente de rugosidad

L longitud de la tubería (m^3/s)

V velocidad en la tubería (m/s)

d diámetro de la tubería (m)

La velocidad en la tubería está dada por:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * d^2}$$

Siendo: V velocidad en la tubería (m/s)

Q caudal (m^3/s)

d diámetro de la tubería (m).

5.2 Variación del diámetro

El costo de la tubería depende del diámetro (d) y del espesor (e). Considerando que al aumentar la presión es necesario aumentar el espesor o reducir el diámetro, sin embargo se considera que la segunda opción es la más económica.

El espesor de la tubería está dado por:

$$t = 1.25 * \frac{\bar{\omega} * H * D}{2s} + t_0$$

Siendo: t espesor (m)

$\bar{\omega}$ peso específico (T/m^3). Para el agua $\bar{\omega} = 1T/m^3$.

H carga bruta (m)

D diámetro de la tubería (m)

S esfuerzo de trabajo (Kg/cm²). Para el acero S = 1200 Kg/cm².

T_o valor que varía entre 2mm a 5mm, dependiendo al diámetro de la tubería.

El volumen de acero por metro de tubería esta dado por:

$$V = \pi * t * D$$

Siendo: V volumen de acero por metro (m³/m)

t espesor (m).

D diámetro de la tubería (m).

5.3 Cálculo de costos y amortización

El costo de la producción de energía anual está dada por:

$$\text{Costo prod .anual} = N * T_{\text{OPERACIÓN}} * F_{\text{CARGA}} * C_{\text{ENERGÍA}}$$

Siendo: N potencia generada (Kw).

T tiempo de operación de la planta (h). Si ésta trabaja en forma permanente, entonces T = 365*24 = 8760 h.

F_{CARGA} factor de carga, depende de la forma de funcionamiento de la planta.

El costo de la pérdida por fricción durante un año de funcionamiento esta dada por:

$$\text{Pérdida .anual} = hf * T_{\text{OPERACIÓN}} * F_{\text{CARGA}} * C_{\text{ENERGÍA}} * g * e * Q$$

Siendo: hf pérdida que se produce en la tubería (m)

T tiempo de operación de la planta (h). Si ésta trabaja en forma permanente durante un año, entonces T = 365*24 = 8760 h.

F_{CARGA} factor de carga, depende de la forma de funcionamiento de la planta.

g Aceleración de la gravedad (m/s^2)

e factor de eficiencia (m/m)

Q caudal (m^3/s).

El costo del volumen de acero total, está dado por:

$$C_{VOLUMEN} = p * P_{ACERO} * V$$

Siendo: p peso específico del acero = $8 (T/m^3)$

P_{ACERO} precio del acero por tonelada ($\$/T$)

L longitud de la tubería de presión (m)

El costo total de la tubería está determinado por:

$$C_{TOTAL} = C_{VOLUMEN} * V$$

Siendo: V volumen de acero (m^3/m)

5.4 Cálculo de la amortización

La amortización es una operación que permite la reconstitución del capital, en un tiempo y una tasa de interés determinado.

$$a = \frac{C * r * (1 + r)^n}{[(1 + r)^n - 1]}$$

Siendo: a amortización ($\$$)

C_{TOTAL} costo total de la tubería de presión ($\$$)

r interés anual (%)

n periodo de retorno (años)

La amortización anual calculada para el volumen de acero está dada por:

$$a_{TOTAL} = a * V$$

Siendo: a amortización (\$)

V volumen de acero (m³)

El costo total anual de generación de la planta está determinado por:

$$C_{TOTAL\ DE\ GENERACION} = a_{TOTAL} - Pérdida\ anual$$

Para un mejor análisis se recomienda presentar los resultados para diferentes diámetros, determinando la tubería más económica.

5.5 Número de tuberías

Al determinar el diámetro más económico se presenta la cuestión de que si conviene emplear una o más tuberías. Más el criterio de Bauerfeld, el empleo de de n tuberías en vez de una encarece el proyecto n^{1/7} veces el costo del diámetro único.

Costo por número de tuberías	
Número	Costo
1	1
2	1.1
3	1.17
4	1.22

ANEXO No. 2
PLANOS

	Nº	CONTENIDO	CODIGO
HIDROLOGÍA	1	CUENCA HIDROGRÁFICA HASTA LA CAPTACIÓN EN EL RÍO ALAMBI DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TULIPE	ANEXO 2-MAPA1
	2	CUENCA HIDROGRÁFICA HASTA LA CAPTACIÓN EN EL RIO TULIPE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TULIPE	ANEXO 2-MAPA2
	3	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y CLIMATOLÓGICAS PARA LA ZONA DE ESTUDIO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TULIPE	ANEXO 2-MAPA3
	4	MAPA DE ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN PERIODO 1972 - 2006. ZONA DE ESTUDIO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TULIPE	ANEXO 2-MAPA4
HIDRAÚLICA	1	IMPLANTACIÓN GENERAL DE LAS OBRAS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO TULIPE	ANEXO 2-HID 01
	2	OBRAS DE CAPTACIÓN RIO ALAMBI: UBICACIÓN E IMPLANTACIÓN	ANEXO 2-HID 02
	3	OBRAS DE CAPTACIÓN RÍO ALAMBI: VERTEDERO DE EXCESOS, CANAL DE ENTREGA, REJILLA DE FONDO Y ENROCADO DE PROTECCION	ANEXO 2-HID 03
	4	OBRAS DE CAPTACIÓN RIO TULIPE: UBICACIÓN E IMPLANTACIÓN	ANEXO 2-HID 04
	5	OBRAS DE CAPTACIÓN RÍO TULIPE: VERTEDERO DE EXCESOS, CANAL DE ENTREGA, REJILLA DE FONDO Y ENROCADO DE PROTECCIÓN	ANEXO 2-HID 05
	6	RÍO ALAMBI: UBICACIÓN - PLANTA DESARENADOR - CORTES - SECCION TÚNEL DE TRASVASE AL RÍO TULIPE	ANEXO 2-HID 06
	7	RÍO TULIPE: UBICACIÓN - PLANTA DESARENADOR - CORTES - SECCIÓN CANAL DE ADUCCIÓN AL TANQUE DE CARGA	ANEXO 2-HID 07
	8	TÚNEL DE TRASVASE ALAMBI - TULIPE TRAMO I PASO SUBFLUVIAL EN EL RÍO TULIPE	ANEXO 2-HID 08
	9	TÚNEL DE TRASVASE ALAMBI - TULIPE TRAMO II DETALLE DE LA ARMADURA DEL TÚNEL DE TRASVASE	ANEXO 2-HID 09
	10	CONDUCCIÓN ENTRE EL PASO SUBFLUVIAL Y EL TANQUE DE CARGA TRAMO I DETALLE DEL CANAL DE CONDUCCIÓN	ANEXO 2-HID 10
	11	CONDUCCIÓN ENTRE EL PASO SUBFLUVIAL Y EL TANQUE DE CARGA TRAMO II DETALLE DEL CANAL DE CONDUCCIÓN	ANEXO 2-HID 11
	12	CONDUCCIÓN ENTRE EL PASO SUBFLUVIAL Y EL TANQUE DE CARGA TRAMO III DETALLE DEL CANAL DE CONDUCCIÓN	ANEXO 2-HID 12
	13	TRANSICIÓN DESDE LA CONDUCCIÓN HASTA EL TANQUE DE CARGA Y TANQUE DE CARGA	ANEXO 2-HID 13
	14	TUBERÍA DE PRESIÓN Y ANCLAJES	ANEXO 2-HID 14
	15	CASA DE MÁQUINAS: PLANTA Y CORTES	ANEXO 2-HID 15
	16	CANAL DE RESTITUCIÓN AL RÍO	ANEXO 2-HID 16
	17	RESTITUCIÓN ESC. 1:10000 Y UBICACIÓN DE PUNTOS GPS	ANEXO 2-HID 17

ANEXO No. 3
FOTOGRAFIAS



Foto 1: - Sitio de ubicación de la tubería de presión según el Perfil de Proyecto del Catálogo de CONELEC, 2005.



Foto 2: - Zona de la confluencia de los ríos Alambi y Tulipe. Vista desde la margen derecha del río Alambi.

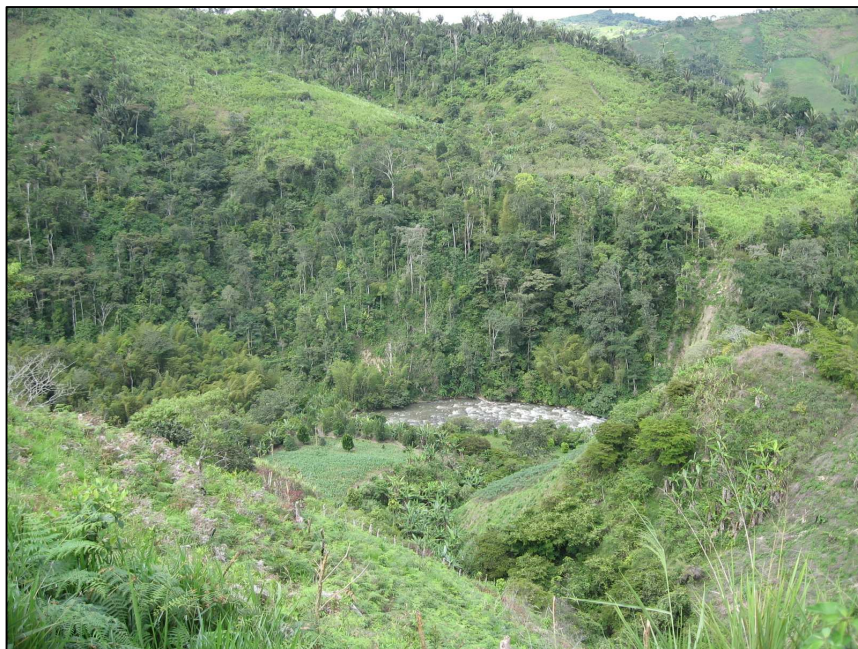


Foto 3: - Vista del tramo del río Alambi, aguas abajo de la sección de derivación de caudales. Se observa la margen izquierda del tramo del río entre la derivación y la confluencia de los ríos.



Foto 4: - Características morfológicas de la margen izquierda del río Alambi en el tramo de desarrollo del proyecto.



Foto 5: - Vista de la configuración del terreno en el sitio del eje del túnel desde el río Alambi (margen izquierda).



Foto 6: - Vista de la cuenca del río Alambi, con la configuración del terreno en el sitio del eje del túnel desde el río Alambi (margen izquierda).



Foto 7: - Vista de la cuenca del río Alambi, en el tramo de desarrollo de los proyectos Palmira y Tulipe, antes del trasvase al río Tulipe.



Foto 8: - Características del río Alambi, inmediatamente aguas arriba del puente de cruce hacia la Hda. Palmira.



Foto 9: - Características del río Alambi, visto hacia aguas abajo, inmediatamente aguas arriba del tramo de derivación y de captación de las aguas.

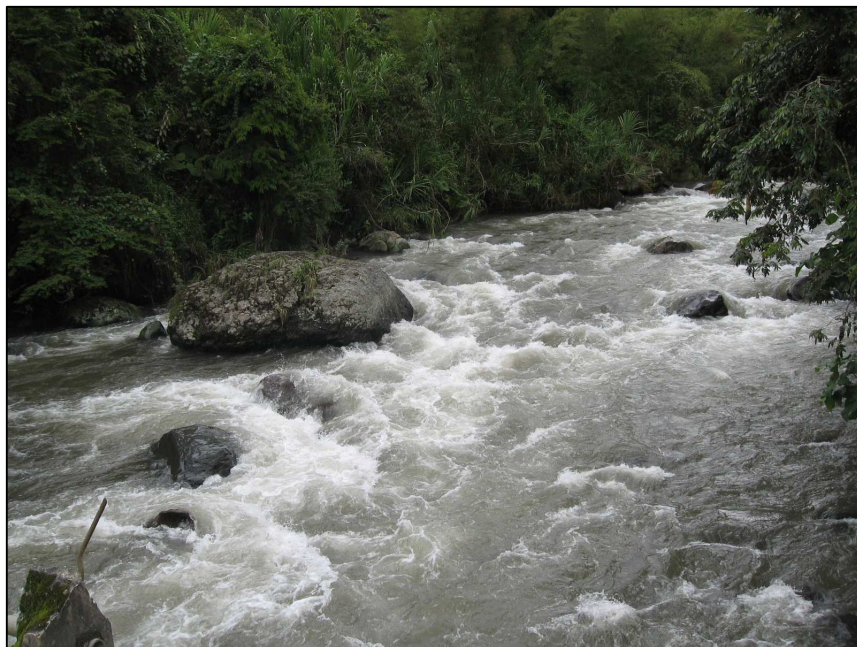


Foto 10: - Características del río Alambi.



Foto 11: - Margen izquierda del río Alambi, en la zona de la confluencia con el río Tulipe. Se observa el desarrollo de la cuenca del río Tulipe.



Foto 12: - Vista panorámica del sitio donde se instalara la captación en el Río Alambi



Foto 13: - Vista del deslizamiento existente en la margen izquierda del río Alambi, en el sitio donde se propuso instalar la casa de máquinas según el perfil de proyecto del CONELEC.



Foto 14: - Vista del tramo del río Tulipe en la zona aguas arriba de la captación.



Foto 15: - Características del río Tulipe y de sus márgenes en la zona de desarrollo del tramo inicial del proyecto.



Foto 16: - Vista panorámica de la cuenca del río Tulipe (margen derecha).



Foto 17: - Vista del tramo superior del río Tulipe.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bureau of Reclamation. (1979), DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑA. México, DF: Editorial CONTINENTAL.
- INAMHI. (1999), Estudio de Lluvias Intensas, Quito.
- Knauss J. (1987), Hydraulic Design Considerations- IAHR- Hydraulic Structures Design Manual, Vol. 1, Balkema Rotterdam.
- Plan Maestro de Electrificación. (2006), Ley de Régimen del Sector Eléctrico, Quito.
- Linsley R. y Joseph Franzini. (1980), Engenharia de Recursos Hídricos, San Paulo: Edición de la Universidad de San Paulo.
- Proyecto MEER – EPN. (2008), Informe Estudio de Prefactibilidad Microcentral Hidroeléctrica Tulipe, Quito.
- Reinoso Á. (2005), Estudio de Prefactibilidad de una Microcentral Hidroeléctrica, Quito.
- Krochin S. (1980), Diseño Hidráulico, Quito: Edición de la EPN.