

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO:

**PREFACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROCENTRAL
HIDROELÉCTRICA PARA LA BASE DE SELVA BS-50
MORONA.**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTORES:

LUIS MANCERO

GALO SÁNCHEZ

DIRECTOR:

ING. JOSÉ GUASUMBA

CODIRECTOR:

ING. FRANCISCO TERNEUS

FECHA: 10 OCTUBRE DEL 2006

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**Prefactibilidad técnica económica para la implementación de una microcentral hidroeléctrica para la Base de Selva BS_50 Morona**” fue desarrollado en su totalidad por el Señor Luis Miguel Mancero Bravo y el Señor Galo Omar Sánchez Quiroz como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing José Guasumba
DIRECTOR

Ing Francisco Terneus
CODIRECTOR

Sangolquí, 2006-10-10

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“Prefactibilidad técnica económica para la implementación de una microcentral hidroeléctrica para la Base de Selva BS_50 Morona” es elaborado por:

Luis Miguel Mancero Bravo

Galo Omar Sánchez Quiroz

Facultad de Ingeniería Mecánica

COORDINADOR DE CARRERA

Sangolquí, 2006-10-10

AGRADECIMIENTO

El contenido del presente documento es el resultado de una ardua labor de investigación, la misma que se pudo llevar a cabo gracias a la colaboración de instituciones como la ESPE y el CICTE, quienes facilitaron los datos y equipos de medición y levantamiento de la información, al Ejército Ecuatoriano, y su personal apostado en la Base de selva No 50, la aviación del Ejército por facilitar el transporte necesario para poder llegar a la población amazónica de TAISHA, a la OLADE, por brindarnos el acceso necesario a su banco de datos, biblioteca y publicaciones referentes al tema de estudio, y al Ing. José Guasumba por facilitarnos la documentación necesaria y la guía para el desarrollo del presente proyecto.

DEDICATORIA

El presente documento es dedicado todas las personas que encuentren en el, un material de consulta y guía para el desarrollo de proyectos de electrificación rural que contribuya al desarrollo de comunidades alejadas y carentes de los servicios mas básicos para su subsistencia, a mi familia, por brindarme el apoyo y la comprensión necesarias para la elaboración del presente documento.

Luis Mancero

A mi madre que siempre tuvo la confianza y el apoyo para así conseguir esta meta, y a toda mi familia, quienes siempre depositaron en mi la ayuda necesaria.

Omar Sánchez Q.

INDICE

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	28
1.1 Antecedentes	28
1.2 Definición del problema	28
1.3 Objetivos	29
1.4 Alcance	30
1.5 Justificación e importancia	30
CAPÍTULO II DETERMINACION DE LA OFERTA	32
2.1 Situación actual del recurso convencional.....	32
2.2 Análisis de la oferta existente (altura y caudal).....	42
2.3 Determinación de la demanda.....	46
2.4. Análisis del volumen del reservorio	49
CAPÍTULO III GRUPO ELECTROHIDRAULICO.	52
3.1 Datos generales.....	52
3.2 Clasificación	54
3.3 Equipos eléctricos	61
3.4 Selección del grupo hidráulico	70
3.5 Obras civiles.	77
3.6 Preselección de la obra civil	135
3.7 Línea de transmisión.....	166
3.8 Determinación de dimensiones de la casa de máquinas.	180

CAPÍTULO IV. MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA	
MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	182
4.1 Montaje y puesta en servicio del grupo	182
4.2 Operación de la MCH y herramientas	184
4.3. Mantenimiento en micro-centrales hidroeléctricas.....	188
4.4. Análisis de causas y soluciones de las fallas en micro-centrales hidroeléctricas..	200
4.5 Análisis administrativo	206
4.6 Análisis de involucrados (CONELEC).....	209
CAPITULO V ANALISIS ECONOMICO.....	210
5.1 Costo de la visita al lugar del recurso hídrico y trabajos necesarios.....	210
5.2 Costo de pre-selección de la obra civil y estudios relacionados.....	211
5.3 Estudio del presupuesto de adquisición, transporte y montaje.....	212
5.4 Presupuesto de pruebas de operación y mantenimiento.....	223
5.5 Presupuesto capacitación del personal.....	224
5.6 Presupuesto del estudio administrativo.	224
5.7 Comparación con el grupo electrógeno ocupado en la base.....	225
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	231
6.1 Conclusiones	231
6.2 Recomendaciones.....	235

ANEXOS

ANEXO I. Tablas de registro de caudales.

ANEXO II. Características de construcción de canales de conducción.

ANEXO III. Propiedades y características de tuberías de presión.

ANEXO IV. Cálculo Del coeficiente de pérdidas por fricción por el diagrama de Moody

ANEXO V. Dimensiones estándar para tuberías de acero y pvc.

ANEXO VI. Esquema eléctrico de la línea de transmisión y las redes de distribución.

ANEXO VII. Esquemas típicos para subtransmisión y distribución.

ANEXO VIII. Características de las líneas de transmisión.

ANEXO IX. Conductores usados para electrificación rural.

ANEXO X. Dimensiones normalizadas de postes de madera para uso en redes de distribución aérea

ANEXO XI. Características de conductores.

ANEXO XII. Diagrama del barraje de captación.

ANEXO XIII. Desarenador.

ANEXO XIV. Diagrama del canal de conducción y aliviadero

ANEXO XV. Tanque de presión

ANEXO XVI. Diagrama de apoyos y anclajes

ANEXO XVII. Tubería de presión

ANEXO XVIII. Diagrama de casa de máquinas

ANEXO XIX. Programa de mantenimiento

ANEXO XX. Costos DE adquisición del equipo electrohidráulico.

ANEXO XXI. Pro forma de instalación de la línea de transmisión

ANEXO XXII. Tabla de distribución de peso para el transporte al lugar.

ANEXO XXIII. Tabla de cálculo del kWh generado.

RESUMEN

La energía hidráulica tiene como fuente la energía potencial del agua que está a cierta altura, esta se transforma en energía mecánica al pasar por una turbina y posteriormente en energía eléctrica por medio de un generador. La energía hidráulica se ha utilizado 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 manutención, 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 micro-central.

Todos estos factores al ser analizados para un proyecto en particular, determinan la factibilidad técnica y económica de la instalación de una micro-central hidroeléctrica. Cuando se habla de micro-central hidroeléctrica se entiende plantas con potencia inferior a 100 Kw. El diseño de un sistema de generación hidroeléctrico comprende tres aspectos fundamentales: obras civiles, equipamiento electromecánico distribución eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La energía hidráulica es una de las mas antiguas formas de energía renovable, cubriendo mas del 19% del consumo mundial desde grandes hasta pequeñas plantas de generación. Países como Brasil, Estados Unidos, Canadá, y Noruega, obtienen su energía de gigantescas instalaciones hidroeléctricas, sin embargo, hay muchas regiones del mundo en las que existe un gran número de pequeñas y micro centrales hidroeléctricas en operación, como es el caso de China, en donde mas de 19000 MW de la electricidad producida proviene de 43000 micro y pequeñas plantas hidroeléctricas.

En nuestro país, las principales fuentes de energía están concentradas en tres grandes generadoras: Paute, Agoyán y Daule Peripa, dos de ellas ubicadas en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, razón por la cual, tienen dos períodos de producción: alta, en invierno y baja en verano o estiaje, es en este período, cuando por falta de lluvias, pueden inclusive llegar a casi detener su generación, siendo cubiertas por plantas térmicas costosas y poco eficientes, encareciendo el precio del Kwh. al consumidor final, creando un déficit tarifario absorbido por el gobierno.

Con la gran cantidad de ríos que cruzan por todo nuestro país, el potencial hidrológico que poseemos es mal utilizado, actualmente existen más de 200 proyectos de generación hidroeléctrica descansando en el ministerio de Energía, proyectos que van desde plantas de algunos kilowatts hasta grandes plantas como Coca Codo Sinclair con 500 MW , con las que se cubriría el déficit energético del país, pero la falta de visión de los gobiernos de turno, la inseguridad jurídica y la falta de garantías para las inversiones, han hecho que estos proyectos caigan en el olvido, sujetándonos a energía costosa, contaminante, y en algunos casos, inclusive a los racionamientos.

Es importante promover proyectos de pequeña generación, ya que su construcción es sencilla, su operación y mantenimiento no son costosas y su disponibilidad solo llevaría algunos meses, proveyendo al país de energía limpia y barata a corto plazo.

LISTADO DE TABLAS

No	Descripción	Pág
2.1	Costos de producción del grupo electrógeno instalado en el lugar (Taisha)	33
2.2	Selección del método de medición del salto.	42
2.3	Datos tomados de salto y nivel. Taisha base BS-50 Morona	43
2.4	Perdida de nivel (Por la caída del canal)	44
2.5	Salto total (m).	44
2.6	Selección del método de medición de caudal.	44
2.7	Datos tomados del caudal 1, Taisha BS-50 Morona:	45
2.8	Variación del caudal medido.	46
2.9	Carga instalada y carga necesaria, Taisha BS-50 Morona	47
2.10	Curva de carga diaria demandada	48
2.11	Caudal a turbinar diariamente y volumen del reservorio.	49
2.12	Comparación de caudales turbinados (varios escenarios)	50
2.13	Comparación de las eficiencias del grupo hidráulico	51
3.1	Selección del tipo de turbina	74
3.2	Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión	111
3.3	Espaciamiento entre apoyos para tuberías de acero comercial.	122
3.4	Dimensiones escogidas para los componentes de la bocatoma lateral	140
3.5	Dimensiones escogidas para el canal de conducción y los aliviaderos	145
3.6	Dimensiones escogidas para el desarenador y cámara de carga	148
3.7	Dimensiones escogidas para la cámara de carga	150
3.8	Dimensiones escogidas para la tubería de presión	153
3.9	Dimensiones escogidas para la los apoyos y anclajes de la tubería de presión.	165
3.10	Factores de caída de tensión (FCT)	173
3.11	Distancias mínimas (en mm) por nivel de tensión	173
3.12	Coeficientes de temperatura	174
3.13	Aisladores recomendados para ambientes con atmósfera limpia (Clases IEE-NEMA)	175
3.14	Normas IEE-NEMA. Mínima carga mecánica de falla para aisladores	176
3.15	Potencias nominales de transformadores	178
3.16	Dimensiones de la casa de máquinas	180
4.1	Período de parada de la central	185
4.2	Repuestos y herramientas necesarios para el trabajo de mantenimiento	186
4.3	Recomendaciones para el resane	189
4.4	Velocidad máxima permisible en canales de tierra	191
4.5	Fallas, motivos y soluciones en turbinas, cojinetes, generadores y línea de transmisión.	201
5.1	Costos de visita al lugar	210
5.2	Costos de trabajos hechos .	210

No	Descripción	Pág
5.3	Lista de materiales para la obra civil. Barraje	214
5.4	Lista de materiales para la obra civil. Desarenador	214
5.5	Lista de materiales para la obra civil. Aliviadero	215
5.6	Lista de materiales para la obra civil. Tanque de presión	215
5.7	Resumen de materiales para la obra civil.	215
5.8	Resumen de materiales para la obra civil. Reservorio	216
5.9	Resumen de materiales para la obra civil. Casa de máquinas	216
5.10	Materiales y costos para la construcción de la línea de transmisión	217
5.11	Peso a transportar de materiales de la obra civil	218
5.12	Capacidad de carga del Helicóptero	220
5.13	Costo de explotación (Taisha)	220
5.14	Número de viajes a realizar y costos	221
5.15	Transporte Guayaquil – Shell	222
5.16	Fallas en turbinas	223
5.17	Costos de visita al lugar	223
5.18	Costo de operación del grupo electrógeno funcionando BS-50 Morona	225
5.19	Costo estimado del Kwh. de la central hidroeléctrica	226
5.20	Tiempos de inversión del capital para la construcción.	226
5.21	Venta anual de energía	227
5.22	Flujo de Caja:	227
5.23	Cálculo del VAN y TIR	228

LISTADO DE FIGURAS

No	Descripción	Pág
2.1	Método del depósito	36
2.2	Vertedero de rebajo triangular	37
2.3	Colocación de las tablas para la medición de caudal	38
2.4	Medición de profundidades del lecho del río.	39
2.5	Medición del salto	41
2.6	Medición del nivel topográfico	42
2.7	Medición del caudal en la cuenca del río Unupi	45
2.8	Medición del caudal.	46
2.9	Curva de carga diaria	49
3.1	Fotografía de una turbina Pelton	54
3.2	Diagrama de inyección de turbinas Turgo	55
3.3	Turbina Mitchell Banki	55
3.4	Diagrama de operación	56
3.5	Turbina Francis	57
3.6	Alabes de turbina	58
3.7	Representación magnética de un generador sincrónico	62
3.8	Regulador de masas giratorias.	66
3.9	Mecánico hidráulica del primer regulador de Watt.	67
3.10	Diagrama de selección de turbinas	71
3.11	Curvas de velocidad específica para turbinas hidráulicas (vs l/s)	72
3.12	Rendimiento en la turbina Ossberger en comparación con Francis	73
3.13	Tipos de entrada en una turbina Ossberger	75
3.14	Componentes de una microcentral hidráulica	78
3.15	Ubicación de la bocatoma y empleo de un barraje de derivación.	81
3.16	Ubicación de la bocatoma	82
3.17	Factores que provocan inestabilidad en un azud mal diseñado	83
3.18	Fuerzas hidráulicas que afectan a la estructura del azud	84
3.19	Tipos de secciones de un canal	86
3.20	Desarenador	87
3.21	Esquema de bocatoma	88
3.22	Esquema de un vertedero con y sin compuerta de control	90
3.23	Esquema de un desarenador	91
3.24	Esquema de una cámara de carga	92

No	Descripción	Pág
3.25	Diseño del desarenador	94
3.26	Observaciones en el diseño de desarenadores	96
3.27	Desarenadores con deflectores y con muros directrices	97
3.28	Rejilla en la cámara de carga	98
3.29	Desagüe de limpieza y aliviadero	99
3.30	Canales de diferentes tipos	100
3.31	Dimensiones del canal y desnivel total	102
3.32	Perímetro mojado	103
3.33	Nomenclatura de un canal	104
3.34	Componentes de una tubería de presión	107
3.35	Unión con bridas	112
3.36	Unión espiga campana	112
3.37	Unión Mecánica.	113
3.38	Juntas de dilatación	115
3.39	Válvula de compuerta	116
3.40	Apoyos y anclajes para tuberías de presión	121
3.41	Fuerzas que intervienen en los apoyos	122
3.42	Características geométricas del tubo	124
3.43	Diagrama de carga de la sección del tubo simplemente apoyada	125
3.44	Fuerza de dilatación de la tubería que actúa sobre el apoyo	126
3.45	Tubería de presión.	128
3.46	Cálculo de la fuerza F1	129
3.47	Cálculo de la fuerza F2	130
3.48	Cálculo de la fuerza F3	131
3.49	Cálculo de la fuerza F4	131
3.50	Cálculo de la fuerza F5	132
3.51	Cálculo de la fuerza F6	133
3.52	Cálculo de la fuerza F7	133
3.53	Cálculo de la fuerza F8	134
3.54	Cálculo de la fuerza F9	135
3.55	Disposición de conductores	171
3.56	Equipamiento por etapa de una subestación	179
4.1	Inspección de rodamientos	193
4.2	Cambio de rodamientos	195
4.3	Gráficas del tiempo y lubricación para rodamientos.	196
5.1	Diagrama de equilibrio del TIR	229
6.1	Comparación económica entre un grupo electrógeno un hidráulico	235

GLOSARIO DE ECUACIONES

Eq Número	Ecuación	Pág
2.1	$PH = Q \times h \times pe$	33
2.2	$Pútil = Q \times Hu \times pe \times 1 \times 2 \times 3 \dots n$	34
2.3	$Pútil = Q \times Hu \times pe \times global$	34
2.4	$Pútil = Q \times Hu \times 10 \times 0,6$	34
2.5	$Pútil = 6 \times Q \times Hu$	34
2.6	$Q = \frac{V}{t}$	35
2.7	$Q = 1,4 \times h^{\frac{5}{2}}$	36
2.8	$Q = \frac{1,8(L - 0,2 \times h) \times h^{\frac{3}{2}}}{1000}$	37
2.9	$Q = 0,75 \times A \times V$	38
2.10	$S = b \times \left[\frac{h1 + h2 + h3 + \dots + hn}{n} \right]$	39
2.11	$\Delta H1 = a - b$	42
2.12	$\Delta HT = \Delta H1 + \Delta H2 + \dots + \Delta Hn$	42
2.13	$(0,363 - qi) \times Hs = qi \times (24 - Hs)$	50
2.14	$Hs = 24 \times \left(\frac{qi}{0,363} \right)$	50
3.1	$E = \frac{P}{I}$	61
3.2	$f = p \times \frac{n}{60}$	64
3.3	$n_s = n * \sqrt{\frac{P}{H^{\frac{5}{4}}}}$	71

Eq Número	Ecuación	Pág
3.4	$n_s = n * \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$	72
3.5	$n = 40 * \frac{\sqrt{H}}{De}$	73
3.6	$Ld = \frac{Vh}{Vd} \times dd \times f$	94
3.7	$P = P1 + P2 + P3$	103
3.8	$A = Q/V$	105
3.9	$H = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{(1+Z^2)} - Z}}$	105
3.10	$B = H \left(2\sqrt{1+Z^2} - 2z \right)$	105
3.11	$W = B + 2HZ$	105
3.12	$W = 2H\sqrt{1+Z^2}$	105
3.13	$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$	105
3.14	$B = 2H$	105
3.15	$W = B = 2H$	105
3.16	$R = A/P$	106
3.17	$S = \left(\frac{nV}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$	106
3.18	Desnivel del canal = L x S	106
3.19	$E = \alpha \times \Delta T \times L$	114
3.20	$hf = 0.08 \frac{f \times L \times Q^2}{d^5}$	117
3.21	$V = \frac{4Q}{\pi d^2}$	117

Eq Número	Ecuación	Pág
3.22	$ht = \frac{V^2}{2g}(K1 + K2 + \dots + Kn)$	117
3.23	$hp = hf + ht$	118
3.24	$pérdidas\% = \frac{hp \times 100}{hB}$	118
3.25	$Ht = hB + \Delta h_{trans}$	118
3.26	$\Delta h = \frac{a \times \Delta V}{g}$	119
3.27	$ht = \Delta h + hp$	119
3.28	$T = \frac{5 \times fs \times ht \times 10^6 \times d \times kj}{S} + Kc$	120
3.29	$F1 = W \times La \times \cos \alpha$	123
3.30	$W = Wt + Wa$	123
3.31	$F1 = (Wt + Wa) \times La \times \cos \alpha$	123
3.32	$F2 = \mu \times F1$	123
3.33	$Wt = \gamma \times V$	123
3.34	$Wt = \gamma \times \frac{\pi}{4}(De^2 - D^2)$	123
3.35	$Wa = \gamma a \times \frac{\pi}{4} D^2$	124
3.36	$\Delta = \frac{5}{384} \times W \times \frac{La^4}{E \times I}$	124
3.37	$M = W \times \frac{La^2}{8}$	124
3.38	$\Delta_{adm} = \frac{1}{360} \times La$	125
3.39	$W_p = V \times \gamma_c$	125
3.40	$\sum F_x (\mu_t \times \sum F_y)$	126

Eq Número	Ecuación	Pág
3.41	$S_{base} \langle S_{adm}$	127
3.42	$S_{base} = \frac{R_y}{A \times \left(1 \pm 6 \times \frac{e}{b}\right)}$	127
3.43	$e = x - \frac{b}{2}$	127
3.44	$F_2 = \mu \times (W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha$	129
3.45	$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times H \times D^2 \times \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2}$	130
3.46	$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen} \alpha$	131
3.47	$F_5 = 31 \times D \times t \times E \times a \times \Delta T$	132
3.48	$F_6 = 3.1 \times D \times C$	132
3.49	$F_7 = 3.1 \times H \times D \times t$	133
3.50	$F_8 = 250 \times \left(\frac{Q}{D}\right)^2 \times \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2}$	134
3.51	$F_9 = 1 \times 10^5 \times H \times \Delta A$	134
3.52	$\Delta V\% = P \times L \times FCT$	172
3.53	$R_t = R_o(1 + \alpha \times \Delta T)$	172
3.54	$\Delta T = t_m - t_0$	172
3.55	$X = 377 \times \left(0.05 + 0.4605 \times \log \frac{DMG}{RMG} \times 10^{-3}\right)$	174
3.56	$DMG = \sqrt[3]{L_1 \times L_2 \times L_3}$	174
3.57	$RMG = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$	174
3.58	$FCT = \frac{(R_t + X \times \tan \phi)}{10 \times U^2}$	175
4.1	$H = \frac{d \times 1,12}{1000}$	195

Eq Número	Ecuación	Pág
4.2	$G = 0,005 \times D \times B$	196
5.1	$VAN = \sum FNC_i - I_0$	229
5.2	$FNC_i = \frac{FC_i}{(1+r)^{TM}}$	229

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Aceite (combustible): producto derivado del petróleo crudo que se usa para calefactores, motores diesel y generadores eléctricos.

Administración de la carga: para influir en la demanda de una fuente de energía.

Alambre (eléctrico): término genérico que designa un conductor eléctrico.

Alabes: paleta combada y perfilada que en las turbinas y otras máquinas sirve para canalizar el fluido o para convertir su empuje en energía mecánica.

Alternador: generador que produce corriente alterna mediante el giro de su rotor, impulsado por un motor.

Alternador asincrónico: dispositivo que convierte la energía mecánica de rotación en electricidad, bajo el principio de la inducción electromagnética. Se induce un voltaje eléctrico (fuerza electromotriz) en una bobina cuando hay un cambio en la cantidad de líneas del campo magnético (o flujo magnético) que atraviesa el circuito. Cuando se cierra el circuito, al conectar los extremos mediante una carga externa, el voltaje inducido provoca la circulación de una corriente eléctrica por el circuito y la carga. De esta forma, la energía de rotación se convierte en energía eléctrica.

Altura de caída: unidad de presión correspondiente a un fluido, utilizada comúnmente en bombeo de agua y en energía hidráulica para expresar la altura a la que debe subir el agua una bomba, o la distancia desde la que cae el agua. La altura total tiene en cuenta las pérdidas de altura por fricción.

Ampere: unidad de medida de una corriente eléctrica; la cantidad de corriente que fluye por un circuito con una fuerza electromotriz de un volt y una resistencia de un ohm. Su abreviatura es amp.

Amperio-horas: medida del flujo de la corriente (en amperes) en el curso de una hora.

ASTM: abreviatura de American Society for Testing and Materials [sociedad norteamericana de ensayo de materiales], responsable de la publicación de muchos métodos estándar utilizados en la industria de la energía.

AWG: abreviatura de American Wire Gauge [sistema norteamericano para denominar los calibres de alambres]; la norma aplicable al grosor de alambres (conductores eléctricos).

Baja demanda: período de baja demanda de energía, en contraposición a la demanda máxima o pico.

Barril (petróleo): 42 galones norteamericanos (306 libras de petróleo o 5.78 millones de Btu).

Caída de presión: la pérdida de presión estática del fluido (líquido o gas) de un sistema por la fricción que ejercen las obstrucciones en tubos, válvulas, accesorios, reguladores, quemadores, o por una rotura del sistema. **Prueba de presurización:** técnica aplicada por los auditores de energía, en la que se usa una puerta sopladora para localizar las áreas de infiltración de aire al exagerar los defectos de la envoltura de la construcción. Esta prueba mide únicamente la infiltración de aire en el momento de realizarla. No toma en cuenta los cambios de presión atmosférica, el tiempo, la velocidad del viento o las actividades que realizan los ocupantes, que pueden afectar los índices de infiltración de aire en un tiempo dado.

Caída de voltaje resistivo: el voltaje desarrollado a través de una celdilla por la circulación de corriente eléctrica por la resistencia de la celdilla.

Canal de toma: componente de una central hidroeléctrica; tubo que suministra agua a la turbina.

Capacidad: la carga que una unidad generadora de energía u otro equipo eléctrico o unidad de calefacción puede satisfacer o suministrar según su fabricante.

Capacidad de carga base: la potencia disponible de una central eléctrica que puede producirse de forma continua.

Capacidad de distribución: la capacidad de distribuir energía.

Capacidad de máxima demanda: capacidad del sistema o equipo productor de energía de satisfacer las demandas pico de energía.

Capacidad nominal: la capacidad de producción de energía aproximada de una planta de energía en condiciones específicas, comúnmente durante los períodos de mayor carga.

Carga: la demanda impuesta a un sistema productor de energía; el requerimiento o consumo de energía de un equipo o grupo de equipos.

Carga conectada: la suma de los regímenes nominales de los electrodomésticos que consumen electricidad conectados a un sistema generador.

Casa de máquinas: área donde se encuentran instalados los equipos o máquinas de las unidades generadoras de energía eléctrica

Caudal: volumen de agua que fluye a través de una sección de un curso de agua por unidad de tiempo.

Central hidroeléctrica: instalación donde la energía potencial de gravedad de agua es transformada primero en energía mecánica y después en eléctrica.

Combustibles fósiles: combustibles formados en la tierra a partir de restos de plantas y animales muertos. Para la formación de combustibles fósiles se necesitan millones de años. El petróleo, el gas natural y el carbón son combustibles fósiles.

Compuerta: equipamiento mecánico móvil que controla el flujo de agua en una represa.

Configuración o perfil de carga: curva que muestra la provisión (kW) de energía (en el eje horizontal) en función del momento en que ocurre (en el eje vertical) para demostrar la varianza de una carga en un período específico.

Corriente (Eléctrica): el flujo de energía eléctrica (electricidad) en un conductor, medida en amperes.

Corriente alterna: tipo de corriente eléctrica cuyo sentido se invierte a intervalos o ciclos regulares; en Estados Unidos, el parámetro es 120 inversiones o 60 ciclos por segundo. Su abreviatura común es CA.

Corriente continua: tipo de transmisión y distribución de electricidad en que la electricidad circula en un solo sentido por el conductor; suele ser un voltaje relativamente bajo y una corriente alta; se abrevia cc.

Demanda: la velocidad a la cual se envía electricidad hacia un sistema o por un sistema, parte de un sistema o parte de un equipo, expresada en kilowatts, kilovoltsamperes u otra unidad adecuada, en un instante determinado o en promedio durante un período especificado.

Demanda/carga pico: demanda o carga máxima de energía en un tiempo determinado.

Desripador: estructura destinada a eliminar la grava y limo producto de la decantación de agua con materiales en suspensión. Pueden ser de flujo continuo o controladas por una compuerta.

Derivación: ruta opcional. En un conducto de calefacción, otra ruta para la circulación del fluido de transferencia de calor de un punto a otro, según lo determine la apertura o el cierre de las válvulas de control tanto en la línea principal como en la de derivación.

Dique (barraje): estructura destinada a impedir y controlar el flujo de un curso de agua, y que aumenta el nivel de ésta para crear la carga hidráulica. El depósito crea, efectivamente, energía almacenada.

Disponibilidad: describe la confiabilidad de las centrales eléctricas. Se refiere a la cantidad de horas que una central eléctrica está disponible para producir energía, dividido entre la cantidad total de horas de un período determinado, normalmente un año.

Distribución: proceso que consiste en distribuir electricidad; suele definir la porción de las líneas de alta tensión de una empresa de servicios eléctricos situada entre el poste y el transformador de energía de la empresa y un punto de conexión/medidor del cliente.

Factor de carga: la proporción de demanda promedio de energía (carga) a demanda máxima (pico de carga) durante un período específico.

Generador: dispositivo que convierte energía mecánica en energía eléctrica.

Generador asíncrono: tipo de generador eléctrico que produce corriente alterna acoplada a la de un generador existente.

Generador sincrónico: generador eléctrico que trabaja a velocidad constante y es excitado por una fuente de energía externa o independiente de la carga o red de transmisión a la que suministra energía.

Kilovolt-Ampere (kVa): unidad de potencia aparente igual a 1000 volt-amperes; el producto matemático de los volts y los amperes de un circuito eléctrico.

Kilowatt (kW): unidad estándar de energía eléctrica igual a mil watts o al consumo de energía a una velocidad de 1000 joules por segundo.

Kilowatt-hora: unidad de medida de suministro o consumo de electricidad de 1000 watts en el lapso de una hora; equivalente a 3412 Btu.

Mampostería: material como el ladrillo, la roca o la piedra.

Medio ambiente: todos los seres vivos y naturales que nos rodean. La tierra, el aire, el tiempo, las plantas y los animales constituyen nuestro medio ambiente.

Motor de combustión externa: motor en que se quema combustible (o se aplica calor) al exterior de un cilindro; motor Stirling.

Planta central de energía: central de energía grande que genera electricidad para distribuirla a clientes múltiples.

Rotor: generador eléctrico que consta de una armadura y una estructura de campo. La armadura lleva la bobina de alambre u otro devanado en el cual se induce el voltaje, mientras que la estructura de campo produce el campo magnético. En los generadores pequeños, la armadura suele ser el componente giratorio (rotor), que está rodeado por la estructura estacionaria de campo (estator). En los generadores grandes y las centrales eléctricas comerciales, se invierte la situación. En un dispositivo de conversión de energía, las aletas y los componentes giratorios.

Sistema (de energía) aislado: sistemas de energía que suministran cargas energéticas individuales o de grupos pequeños.

Sobrecarga: el exceso de la capacidad determinada de un dispositivo.

Subestación: instalación eléctrica que contiene equipo para la conversión (y a veces generación) de energía, como transformadores, compensadores e interruptores automáticos.

Tanque de presión: estructura destinada a la captación del agua para conducirla a la tubería de presión. También está diseñada para soportar los golpes de sobrepresión en la tubería.

Tasa de rentabilidad interna: tasa de rendimiento muy utilizada en análisis económicos. De este método resulta la tasa de interés igual al valor equivalente de los ahorros o recibos de efectivo opcionales al valor equivalente de gastos en efectivo, incluidas las inversiones. La tasa de interés resultante se denomina tasa de rentabilidad interna (IRR).

Transformador: dispositivo electromagnético que modifica el voltaje de la corriente alterna. Consta de una bobina de inducción con devanados primario y secundario y un núcleo de hierro.

Transmisión: el proceso que consiste en enviar o mover electricidad de un punto a otro; se define como la parte de las líneas de alta tensión de una empresa pública de electricidad desde la barra colectora de la central eléctrica hasta el último transformador anterior a la conexión del cliente.

Tubería de presión: tubería de acero o pvc, destinada a transportar el agua de operación de la central hidráulica desde el tanque de presión o represa hasta las turbinas de generación.

Turbina: dispositivo para convertir la circulación de un fluido (aire, vapor, agua o gases calientes) en movimiento mecánico.

Turbina de agua: turbina que utiliza presión de agua para que giren sus álabes. Las variedades principales son: la de rueda tipo Pelton, para caídas de gran altura (presión); la turbina Francis, para alturas de caída bajas a medianas; y la Kaplan, para una amplia variedad de alturas. Se utilizan principalmente para impulsar generadores eléctricos.

Turbina Kaplan: clase de turbina que tiene dos álabes de paso regulable. Puede tener compuertas para controlar el ángulo de alimentación de líquido a los álabes.

Turbina tipo Francis: tipo de turbina hidroeléctrica que contiene una rueda móvil con pasajes de agua formados por álabes o paletas curvas. Cuando el agua atraviesa la rueda móvil y pasa por encima de las superficies curvas, la hace girar. Un eje transmite el movimiento de rotación a un generador.

Turbina tipo Pelton: tipo de turbina hidroeléctrica de impulso en la que el agua pasa por boquillas y golpea contra copas dispuestas en la periferia de una polea fija o rueda, de lo que resulta la rotación de la polea y la producción de energía mecánica. La polea se encuentra fija a un eje, que transmite el movimiento rotatorio de la turbina a un generador. Se suele utilizar para aplicaciones de gran altura de caída y poco caudal.

Valor presente: la cantidad de dinero necesaria para asegurar un determinado flujo de efectivo en una fecha futura con un rendimiento estipulado.

Valor presente neto: el valor de una cartera personal, un producto o una inversión después de restar del ingreso de operación la depreciación y el interés sobre el capital adeudado. También puede considerarse el valor equivalente de todos los flujos de fondos en relación con un punto de referencia llamado actual.

Vertedero: estructura destinada a escurrir el agua de un embalse o canal. Los vertederos pueden ser de escurrimiento libre o a cielo abierto o de compuertas.

Vida útil de diseño: tiempo durante el cual se espera que un sistema o electrodoméstico (o un componente) funcione a su capacidad nominal o de diseño, sin necesidad de reparaciones mayores.

Volt: unidad de fuerza eléctrica equivalente a la cantidad de fuerza electromotriz que provoca el flujo de una corriente estable de un ampere contra una resistencia de un ohm.

Voltaje: cantidad de fuerza electromotriz, medida en volts, que existe entre dos puntos.

Volt-ampere: unidad de medida eléctrica equivalente al producto de un volt y un ampere.

Watt: tasa de transferencia de energía equivalente a un ampere bajo la presión eléctrica de un volt. Un watt equivale a 1/746 caballos de fuerza o un joule por segundo. Es el producto del voltaje por corriente (amperaje).

Watt-hora: unidad de consumo eléctrico de un watt durante una hora.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

A finales de la década del 70 los países en vías de desarrollo sufrían por la crisis energética con su alza en el precio del petróleo. Para buscar soluciones, el Gobierno de la República Federal de Alemania encargó a la GTZ en el año 1979 la planificación de un Programa Especial de Energía a nivel mundial. Después de seleccionar 10 países de los cuales dos eran en América Latina, Perú y Colombia, se realizaron estudios en cada uno. El objetivo era buscar lugares descentralizados para proyectos pequeños y promover el desarrollo y la difusión de sistemas de energía renovable. Además el uso racional de la energía era otro de los objetivos principales. En el año 1981 se inició la fase de ejecución.

En 1982 se comenzó a planificar y coordinar proyectos hidroenergéticos, siendo uno de los primeros, el análisis de las balsas flotantes, un proyecto de la Universidad de los Andes en Bogotá.

1.2 Definición del problema

La base de selva BS-50 se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago a 45 minutos de vuelo de la población de Shell-Mera, en plena selva virgen de la amazonía ecuatoriana, siendo el único medio de acceso y aprovisionamiento el puente aéreo realizado por la sexta división de ejército Amazonas, por tal razón es imposible que el personal militar destinado en esta base, tenga acceso al suministro de energía eléctrica proveniente del sistema nacional interconectado.

Para suplir esta necesidad, actualmente se cuenta con un grupo electrógeno de 163 KVA, el mismo que funciona entre las 18H00 y 22H00, que es el horario de mayor demanda.

Este tipo de suministro de energía presenta una gran cantidad de problemas, debido a que su operación es costosa por el tipo de combustible quemado (diesel 2) que es llevado en forma inadecuada por los helicópteros de la fuerza terrestre. Los gases producto de la combustión generan un impacto ambiental considerable, sin mencionar el hecho del ruido proveniente de la planta.

Ante esta situación, y aprovechando los recursos hídricos de la zona, el presente proyecto está destinado a estudiar la prefactibilidad técnica económica de la implementación de una microcentral hidroeléctrica que provea en forma constante la energía necesaria para el desarrollo de las actividades habituales del personal militar destinado a la base de selva BS-50, mejorando de esta forma sus condiciones de vida, y reduciendo en forma considerable el impacto ambiental producido por la generación de dicha energía.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Aprovechando los recursos hídricos de la zona, el presente proyecto está destinado a estudiar la pre-factibilidad técnica económica de la implementación de una microcentral hidroeléctrica que provea en forma constante la energía necesaria para el desarrollo de las actividades habituales del personal militar destinado a la base de selva BS-50 Morona, mejorando de esta forma sus condiciones de vida, y reduciendo en forma considerable el impacto ambiental producido por la generación de dicha energía.

1.3.2 Específicos

- Determinar la demanda real existente y la oferta que presenta el recurso hídrico (Caudal y altura de diseño) determinando las características técnica óptimas del grupo hidráulico obteniendo un costo conveniente para la adquisición.

- Realizar un prediseño de la obra civil (captación, conducción, tanque , tubería de presión , piscina y casa de máquinas) que optimice los costos en la adquisición y construcción de la misma.
- Realizar el análisis económico que comprenda la comparación del costo de la energía proveniente de la central hidroeléctrica con el costo de la energía proveniente de un grupo electrógeno utilizado.

1.4 Alcance

Realizar un estudio técnico-económico de las características del equipo electromecánico adecuado que permita junto a los costos de los estudios relacionados la implementación de la microcentral hidroeléctrica, que trate de cubrir la demanda de energía eléctrica en forma continua de la base BS-50 Morona, comparándolo económicamente con el sistema actualmente utilizado en el lugar.

1.5 Justificación e importancia

- La implementación de un proyecto de energía alternativa en una región tan alejada como es el cantón de Taisha en la provincia de Morona Santiago, en la base de selva BS-50, permitiría las siguientes ventajas:
- Eliminar la necesidad del uso de combustibles fósiles como fuente de energía, así como los costos, el proceso, y el peligro de adquirir y transportar dichos combustibles.
- El costo de implementación de la microcentral será cubierto en mediano plazo (10 años aprox.) de acuerdo al costo de los combustibles fósiles actualmente utilizados.
- Con un equipo cuya vida útil es mayor que cualquier grupo electrógeno en condiciones adversas como es en esta región del país, los costos de producción, de mantenimiento, y de operación son menores a los costos del equipo utilizado actualmente.

- Entregar a la base militar, energía eléctrica en forma continua, el mismo que permitiría la implementación de sistemas de comunicación, carga de baterías, formas de cocción de alimentos por medio de cocinas eléctricas, implementación de ventiladores, sistemas de bombeo y purificación de agua, logrando el desarrollo de la base militar, optimizar su capacidad operacional, y la posibilidad de suministrar a la comunidad de Taisha la energía excedente proveniente del recurso hídrico.

CAPÍTULO II

DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA

2.1 Situación Actual del recurso convencional

Actualmente se cuenta con un grupo electrógeno de 163 KVA, el mismo que opera entre las 18H00 y 22H00, que es el horario de mayor demanda, teniendo el resto del día desprovisto de energía, debido a que esta planta consume 7gls/hr. (21 Kw/gl) de combustible (diesel 2), el mismo que es transportado en tanques de 55 gls inadecuadamente por el puente aéreo.

Los principales problemas que afectan a este tipo de generación son:

- Energía costosa debido al tipo de combustible y aditivos utilizados para el funcionamiento del grupo electrógeno, como se presenta en la tabla 2.1.
- Altamente contaminante, por los gases producto de la combustión que generan un impacto ambiental considerable.
- El ruido producido por la unidad de generación, también debe ser tomada en cuenta, pues en la casa de máquinas sobrepasa los 80 dB.
- El mantenimiento de esta unidad, si se lo realiza en el sitio, dejaría desprovisto de energía por un lapso aproximado de 3 semanas, y con un costo de aproximadamente 3000 USD.

Al contar con el recurso natural hídrico, se puede pensar en la implementación de una microcentral hidroeléctrica que supla las necesidades del personal en forma continua, sin necesidad de adquirir y transportar combustible en forma peligrosas, y produciendo un impacto ambiental mucho menor que el actualmente utilizado.

Tabla 2.1 Costos de producción del grupo electrógeno actualmente funcionando
(Ubicado en la base de selva BS 50 Morona)

COSTO DE PRODUCCIÓN¹	
Rendimiento (gl/h)	8,00
Horas de funcionamiento diario (h)	4,00
Horas de funcionamiento anual (h)	1460,00
Consumo Anual (gls/año)	11680,00
Precio del combustible (En la terminal) (USD /gl)	0,90
Costo total del combustible (USD /año)	10520,22
Aceites y aditivos (USD /año)	1104,62
COSTO TOTAL (USD /año)	11624,85
TRANSPORTE (BARRILES DE 55 gl)	
Viajes por año (puente aéreo)	48,00
Costo por Viaje (USD /viaje)	300,00
Costo total por año (USD/año)	14400,00
Costo total de generación (usd /año)	26024,85
Costo total del combustible (usd /gl)	2,23
Costo total del Kwh. generado (usd /Kwh.)	0,12

2.1.1 Métodos de cuantificación del recurso hidráulico

La potencia de una corriente de agua depende de dos factores fundamentales, éstos son:

- Caudal del recurso hidráulico
- Altura de caída.

Estos factores se relacionan como expresa la fórmula siguiente:

$$PH = Q \times Hu \times \gamma \quad \text{Ec. 2.1}$$

¹ Precios vigentes en la Terminal. Fuente: Petrocomercial. <http://www.petrocomercial.com>

Donde:

PH: potencia hidráulica en Watt; **Q:** caudal en m³/s; **Hu:** caída en m; **γ:** peso específico del agua en N/m³.

La potencia calculada con la fórmula anterior corresponde a la potencia teórica que podría transformar la turbina. Sin embargo, al implementarse la central hidroeléctrica la potencia obtenida será menor, producto de las pérdidas que inducen las instalaciones y las maquinarias de aprovechamiento energético.

Estas pérdidas se cuantifican a través de los rendimientos correspondientes a cada máquina. Así, la potencia útil obtenida de una instalación hidroeléctrica se puede calcular por la fórmula siguiente:

$$P_{\text{útil}} = Q \times Hu \times \gamma \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \dots \eta_n \quad \text{Ec. 2.2}$$

Los rendimientos $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$; que aparece en la fórmula corresponden a los distintos rendimientos de las distintas máquinas involucradas en la instalación. Estas pueden ser turbinas, transmisión mecánica, generador, otros. Estos rendimientos usualmente los entrega el fabricante de cada máquina o equipo. Para fines de un cálculo aproximado puede usarse un rendimiento global que considere todos los rendimientos individuales. Diversas experiencias indican que en instalaciones pequeñas un rendimiento global de 60% está bien ajustado a la realidad. Con esto, la fórmula quedaría expresada en la forma siguiente:

$$P_{\text{útil}} = Q \times Hu \times \gamma \times \eta_{\text{global}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$P_{\text{útil}} = Q \times Hu \times 10 \times 0,6 \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$P_{\text{útil}} = 6 \times Q \times Hu \quad \text{(KW)} \quad \text{Ec. 2.5}$$

a. Caudal Q

Este valor suele variar en algunas regiones de acuerdo a las estaciones, y a otros fenómenos climáticos. Generalmente se necesita saber el valor medio, o normal, del

caudal de un arroyo a los fines de poder dimensionar los equipos y demás instalaciones. Es importante establecer que la medición del caudal sea representativa del valor medio.

Es frecuente que los ingenieros y proyectistas de sistemas hidráulicos con microturbinas, se planteen estimar con excesiva precisión los valores del caudal medio de los arroyos. En obras de gran envergadura, la estimación exacta del caudal puede ser crucial, y por lo tanto, se justifica un estudio o una recopilación de los aforos de los caudales durante muchos años. En cambio, en el caso de pequeños recursos hidráulicos (inferiores a los 100 kW), es irrelevante que la estimación de la altura y el caudal se realice con un error menor al 10 %. Es más importante poder estimar la curva de disponibilidad de caudal a lo largo del año, considerando los períodos de lluvia o nieve de la región.

Para estudiar el comportamiento de los arroyos, es de suma importancia la información que puedan aportar los pobladores, especialmente las personas que han vivido muchos años en el lugar y que conocen por observación los niveles y variaciones en el caudal del arroyo, tanto los valores medios y normales, como los de períodos de seca y de grandes crecidas. No es lo mismo medir caudales en períodos de poca precipitación que en los de abundantes lluvias, y ambos valores no son representativos del módulo, o caudal medio anual, que el técnico necesita para dimensionar las instalaciones de la represa, la turbina y los equipos electromecánicos.

1. Método del llenado de un depósito:

Se trata de desviar el caudal del cauce y estimar el tiempo que tarda en llenarse el bidón (Fig. 2.1), conociendo la capacidad del bidón y el tiempo empleado, se puede conocer el caudal de forma aproximada. Lógicamente este método es útil en pequeños cauces que puedan desviar su caudal de una forma sencilla.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s; **V:** Volumen del depósito en m³; **t:** tiempo de llenado en s

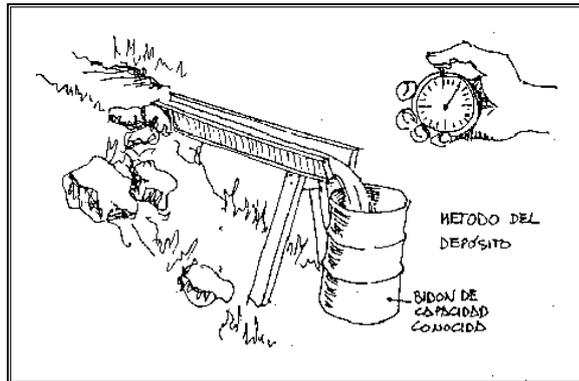


Fig. 2.1. Método del depósito

2. Medición de caudales por medio de vertederos

Este método se utiliza cuando la corriente posee un caudal tal que no permite usar otro método y donde las condiciones del terreno lo permitan. Es el más adecuado cuando se desea obtener registros de caudal de la corriente por periodos largos.

Consiste en hacer circular la corriente de agua a través de restricciones de geometría y perfil conocido, de modo que, por medio de la medición de un parámetro, normalmente la altura del agua sobre la cresta superior del vertedero, es posible cuantificar la cantidad de agua que fluye.

3. Vertedero de rebajo triangular

Este vertedero se utiliza preferentemente para la medición de pequeños caudales, inferiores a 300 lts/s (mínimo 3 lts/s), en canales de ancho reducido respecto a su profundidad. Este vertedero se puede apreciar en la figura 2.2.

$$Q = 1,4 \times h^{\frac{5}{2}} \quad \text{Ec 2.7}$$

Donde:

Q; Caudal circulante en m³/s **h**: altura del agua sobre el vértice del vertedero en metros.

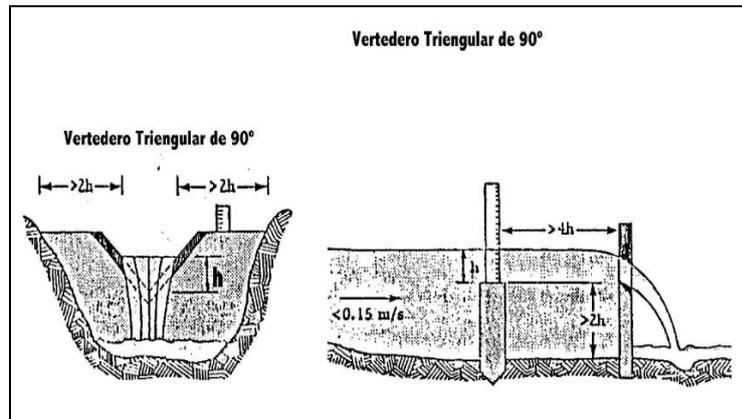


Fig 2.2. Vertedero de rebajo triangular

4. Método de la tabla aforadora

En primer lugar se ha de buscar un lugar propicio en el arroyo o cauce que se desea medir. Se coloca una tabla como dique, tapando con barro en los costados y por debajo, de modo que se produzca un pequeño remanso. En la parte media de la tabla, se ha realizado previamente a su colocación, un corte de dos metros de largo y de 20 cm de profundidad. Por esta garganta vierte el arroyo con una pequeña cascada. El caudal Q del arroyo se obtiene de una tabla de valores, en función de la altura h . La altura h se obtiene midiendo la distancia entre el borde inferior del vertedero y el nivel de la superficie del espejo de agua del remanso.

$$Q = \frac{1,8(L - 0,2 \times h) \times h^{\frac{3}{2}}}{1000} \quad \text{Ec. 2.8.}$$

Donde:

Q; caudal sobre el vertedero en m^3/s ; **L**; longitud del vertedero; **h**; altura del agua sobre el vertedero.

Por ejemplo, si en el aforador de la tabla de 2 m de largo se obtiene una lectura de 10 cm, esta altura corresponderá, según la escala, a un caudal de 113 l/s.

Es un método útil para arroyos medianos, de más de 20 l/s. Se llenan las juntas de las tablas con arcilla, al igual que su unión con la orilla para evitar fugas. La abertura del vertedero debe tener los cortes en forma sesgada, con los bordes agudos en el lado de la corriente arriba, es decir, en el lado en que va a quedar el agua estancada. Se han de colocar dos tablas según las indicaciones de la figura para poder medir la altura del sobre flujo que atraviesa el vertedero.

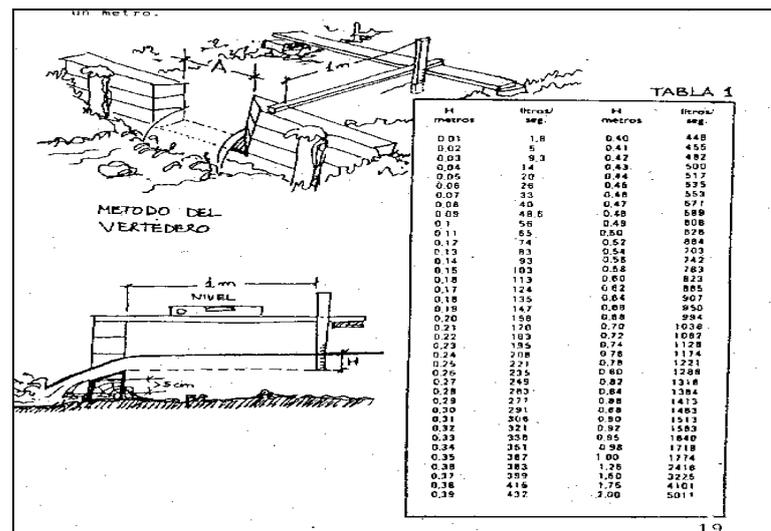


Fig. 2.3. Colocación de las tablas para la medición de caudal

Utilizando la tabla adjunta (válida para vertederos de 1 m de anchura: A=1m) se puede hallar el caudal en función de la altura del sobre flujo.

5. Método del flotador.

Para ríos, acequias, canalizaciones y corrientes de poca velocidad y gran caudal se puede utilizar este sencillo método.

Se colocan dos cordeles separados una distancia de 10 metros. Se echa el flotador más arriba y en el centro del río. Se mide el tiempo que le cuesta pasar entre los cordeles.

$$Q = 0,75 \times A \times V \quad \text{Ec. 2.9}$$

Q; Caudal medido en m³/s; **A;** la sección del cauce en m²; **V;** velocidad superficial del río.

El coeficiente 0,75 se introduce para corregir la velocidad superficial y aproximarla a la velocidad media, pues tanto en la orilla como en el fondo la velocidad es diferente.

La sección del cauce se puede hallar según el siguiente sistema:

Para calcular el área de la sección transversal, se recomienda descomponerla en una serie de trapecios como muestra la figura siguiente. Midiendo sus lados con ayuda de unas reglas graduadas, colocadas en la forma que indica la figura 2.4, el área de la sección mojada del cauce vendrá dada por la ecuación:

$$S = b \times \left[\frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} \right] \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

S; área de sección mojada del río en m² **hn**; profundidad medida en m

b; ancho del río medida en m.

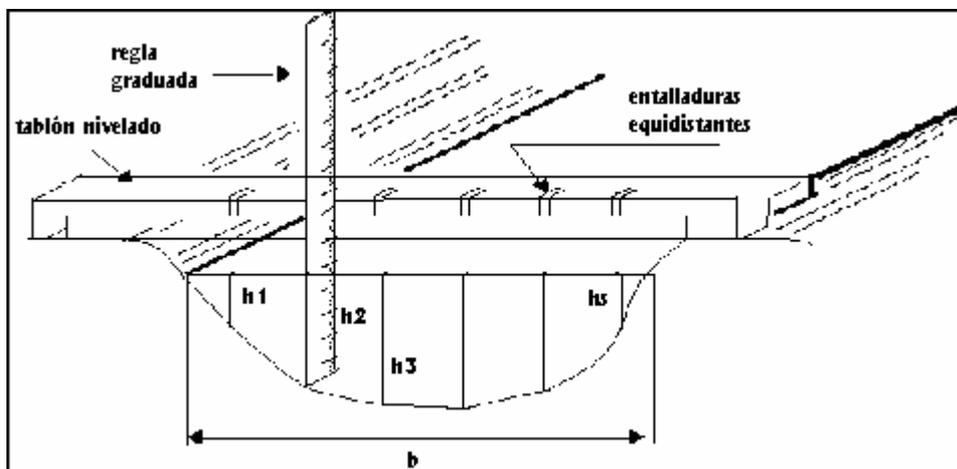


Fig. 2.4. Medición de profundidades del lecho del río.

6. Otros

Para determinar la curva de duración de caudales del río a aprovechar, en la generalidad de los casos, no se cuenta con series de datos de medición de caudales y

muchas veces ni siquiera con estaciones meteorológicas cercanas ni cartas geográficas, este factor impide generar caudales empleando métodos hidrológicos y ante la imposibilidad de realizar largos periodos de aforos de caudales, se optó por aforar la mayor cantidad de veces posibles en las visitas realizadas a la zona, principalmente en periodo de estiaje (caudal mínimo) y en base a información histórica de los pobladores más antiguos a estimar en el tiempo la variación de caudales. Esta metodología se empleó en todos los proyectos realizados, hasta el momento sin grandes errores, lógicamente para aplicarla es necesario contar con algo de experiencia.

b. Altura H (Caída disponible)

La medición de la altura de caída disponible se efectúa entre el nivel de la cámara de carga y el nivel de evacuación del agua de la turbina, o sea el nivel del canal de evacuación. El nivel de la cámara de carga puede variar notoriamente de una época a otra haciendo variar la potencia disponible.

De acuerdo con el salto los aprovechamientos pueden clasificarse en:

- De alta caída: salto de más de 150 m
- De media caída: salto entre 50 y 150 m
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m

Estos límites son arbitrarios y solo constituyen un criterio de clasificación

Se entiende por altura **-H-** la diferencia de altura que existe, entre el nivel de la superficie del espejo de agua y el nivel del piso de la sala de máquina. Cuanto mayor es esta altura, mayor será el potencial energético para un mismo caudal, y, en consecuencia, menor será el tamaño requerido de la micro turbina y mayor el número de revoluciones de su eje, para producir la misma cantidad de energía.

Una de las maneras más sencillas y exactas para medir la altura del salto de un recurso hidráulico, es utilizando un manómetro y una manguera. Si no se dispone de una manguera lo suficientemente larga como para abarcar la altura total del salto, se puede

realizar la suma de mediciones parciales. El procedimiento consiste en fijar un extremo de la manguera al nivel de la parte superior del salto, proceder a llenarla con agua y conectar el manómetro en el extremo inferior. De este modo, una altura vertical H de 10 m. de la columna de agua dentro de la manguera equivale a una presión de 1 atmósfera

(1 Kg/cm²) en el manómetro. De esto se deduce fácilmente que si la altura del salto H es de aproximadamente 30 m, habrá que utilizar un manómetro de 4 atmósferas

(4 Kg/cm²). Otra forma, aunque más rudimentaria para medir la altura, es utilizando dos elementos: un nivel de albañil para fijar el plano horizontal y una caña o vara de cuatro o cinco metros de largo, en cuya punta se atará un paño rojo para facilitar la visualización.

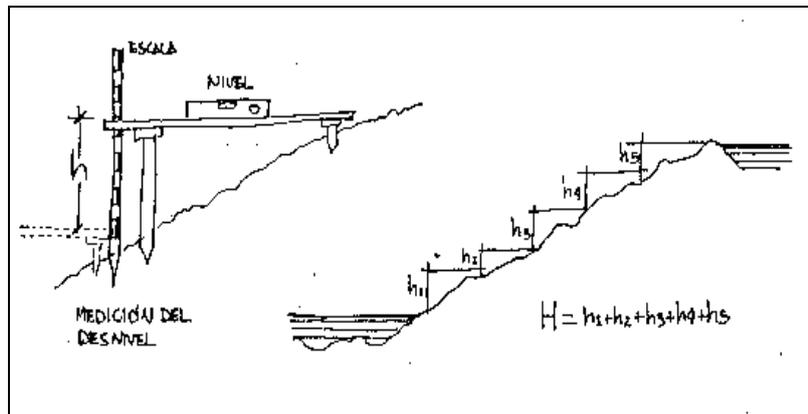


Fig. 2.5 Medición del salto

Por medio de sucesivas mediciones parciales, se llega a valores aceptables como para tener una estimación más real de la altura del salto.

Nivel de topografía

- Apreciación: 1 cm (regla)
- Análisis de la medición:

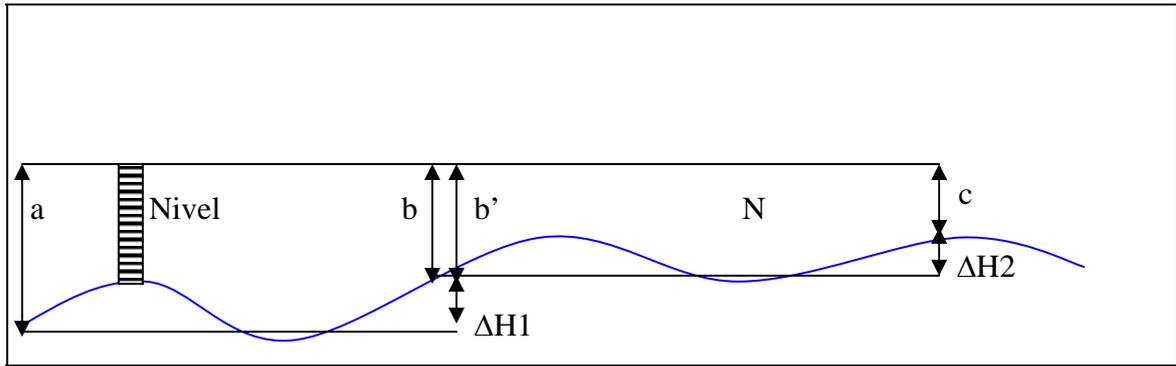


Fig. 2.6 Medición del nivel topográfico

$$\Delta H1 = a - b \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde:

$\Delta H1$: Incremento de nivel topográfico en m; a y b: nivel medido en el terreno en m

$$\Delta H2 = b' - c$$

Donde: $\Delta H2$: Incremento de nivel topográfico en m; b' y c: nivel medido en el terreno en m

$$\Delta HT = \Delta H1 + \Delta H2 + \dots + \Delta Hn \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde: ΔHT : incremento de nivel topográfico total en m.

2.2 Análisis de la oferta existente (Altura y Caudal)

2.2.1 Altura (salto)

Tabla 2.2 Selección del método de medición del salto.

MATRIZ DE DECISION					
Nº	Método/ Característica	Facilidad de obtención	Precisión	Optimización de tiempo	SUMA
1	Manómetro y manguera	1	1	1	3
2	Nivel de albañil y vara	1	1	0	2
3	Nivel de topografía	1	2	2	5
Método utilizado:		Nivel de topografía		Máximo:	5

Características:

- Método utilizado: Nivel de topografía
- Apreciación: 1 cm (regla); Dificultad del terreno: Difícil (Árboles, maleza, rocas)
- Tiempo de mediciones: 8 horas

Análisis de la medición:

$$\Delta H_1 = a - b \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$\Delta H_2 = b' - c \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n \quad \text{Ec. 2.12}$$

Tabla 2.3 Datos tomados de salto y nivel. Taisha base BS-50 Morona

SALTO	NIVEL
Hi (m)	ΔH_i (m)
3,54	3,54
3,85	2,84
1,38	1,07
4	2,76
2,94	2,162
0,48	-0,54
4	0,73
0,78	-3,18
0,4	-1,155
1,04	-1,39
0,25	-3,12
0,14	-3,66
0,987	-2,693
0,2	-3,42
0,77	-2,895
0,538	-3,282
0,2	-1,51
1,49	-1,575
0	-12
ΔTH_i	-27,318

Tabla 2.4 Perdida de nivel (Por la caída del canal)

Perdida de nivel (Canal)		
Canal:	1700	(m)
Ángulo (α)	0,10	(Grad.)
Perdida X:	2,95	(m)

Tabla 2.5 Salto total (m).

NIVEL Δ HT:	27,318	(m)
Perdida X	2,95	(m)
Perdida x (reservorio, opcional)	3,5	(m)
Perdida altura, turbina Ψ ,suelo	0,74	(m)
TOTAL salto:	20	(m)

2.2.2. Caudal

Tabla 2.6 Selección del método de medición de caudal

MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL CAUDAL					
Nº	Método/ Característica	Facilidad de aplicación	Precisión	Optimización de tiempo	SUMA
1	Llenado de un depósito	2	2	1	5
2	Vertedero de rebajo triangular	1	1	1	3
3	Tabla aforadora	1	1	1	3
4	Flotador	2	2	2	6
				Método :	
	Nota: El método elegido es:	El de mayor puntaje		Flotador	6

- Método utilizado: Del flotador
- Dificultad del terreno: Difícil (Árboles, maleza, rocas)
- Tiempo de mediciones: 4 días



Fig. 2.7. Medición del caudal en la cuenca del río Unupi

Tabla 2.7 Datos tomados del caudal 1, Taisha BS-50 Morona²:

Día:	12/05/2003	
	Caudal 1	15:28
N	Alturas (m)	ti(seg.)
1	0,29	6
2	0,27	7
3	0,24	7
4	0,20	6
5	0,11	7
6	0,12	6,6 Prom.
7	0,10	
8	0,11	
9	0,09	
10	0,05	
11	0,05	
12	0,08	
Hi(m):	1,71	
b	1,30	
n	12,00	
S (m ²)	0,19	
d(m)	8,80	
t(seg.)	6,60	
V(m/s)	1,33	
Q1	0,25	(m³/seg.)
q1	247,58	(lit/seg.)

² Las tablas de datos restantes se encuentran en el Anexo I

VARIACIÓN DEL CAUDAL



Fig. 2.8 Medición del caudal.

Tabla 2.8 Variación del caudal medido.

Día:	Hora	Caudal (m³/s)
12/05/2003	15:30	0,248
13/05/2003	10:45	0,567
14/05/2003	10:45	0,580
27/05/2003	15:30	0,221
29/05/2003	10:35	0,582
30/05/2003	15:00	0,218
Caudal promedio		0,402

2.3 Determinación de la demanda (Carga Eléctrica)

2.3.1 Análisis de la demanda de energía.

La demanda de energía (carga eléctrica) se la realizó sumando la potencia de consumo (watts) de cada aparato que consume energía, determinando una cierta carga eléctrica a ser distribuido por el sistema nuevo a instalar (microcentral hidroeléctrica).

Tabla 2.9. Carga instalada y carga necesaria, Taisha BS-50 Morona

Carga Instalada										
No	Cantidad	Habitantes por/vivienda	Tipo Carga	Potencia (W)	Total (W)	Otros	Potencia instalada (W)	Potencia Necesaria (W)	Total necesaria (W)	Total instalada (W)
1	3	Pollera	foco	100	300	Grabadora	15	15	315	315
2	3	Polvorín	foco	100	300				300	300
3	1	Bodega-guineo	foco	100	100				100	100
4	2	Prevención	foco	100	200	Grabadora	15	15	215	215
5	4	Carnicería	foco	100	400	Refrigerador	186,425	186,425	586,425	586,425
6	4	Bodega-viveres	foco	60	240	Refrigerador	186,425	186,425	426,425	426,425
7	11	Casino Volun	foco	100	1100	TV	50		1100	1150
8	16	Villa-geográfica	foco	100	1600	Grab+Tv	260		1600	1860
9	4	Cantina	foco	100	400	Nevera+TV+Rad	250	250	650	650
10	2	Coman-princ	foco	100	200	Nev.p+Vent+Rad	260	75	275	460
11	4	Coman-princ	foco	100	400	PC+ impresora	177	177	577	577
12	2	Coman-princ	foco	100	200	Ventilador-Radio	75		200	275
13	2	Mecánica	foco	100	200	Esmeril-1Solda	5764,25	15	215	5964,25
14	2	Capilla	foco	100	200				200	200
15	8	Casino oficial	foco	100	800	Tv + Nevera	531	531	1331	1331
16	8	Casino oficial	foco	100	800	Licua+4 grabad	380	380	1180	1180
17	1	Ferretería	foco	60	60				60	60
18	2	bodega clase	foco	100	200				200	200
19	6	Dormitorios	foco	100	600	Equipo + Venti	200	200	800	800
20	15	Dormit-Volun	foco	100	1500	Radio	15	15	1515	1515
21	6	Dormit-Volun	foco	100	600	Radio	15	15	615	615
22	10	Comedor	foco	100	1000				1000	1000
23	4	Clase 6	foco	60	240				240	240
24	5	Bodega inten	Foco	60	300				300	300
25	0	Lavandería	Foco	60	0	Bomba	745,7		0	745,7
26	2	Transmisión	Foco	100	200	PC+1 impre+1 Rad	140	140	340	340
27	4	Oficina	Foco	100	400	Ventl decodiAmplif	400	400	800	800
28	7	Oficina	Foco	100	700	2PC+1 impresora	272	272	972	972
29	14	Policlínico	foco	60	840	Compresor	500		840	1340
30	54	Cabañas	foco	100	5400	9 Radios-9TV	585	300	5700	5985
31	128	Villas	foco	60	7680	Lav-Vent-Refri-TV	17417,1	17417,1	25097,1	25097,1
32	20	Alum.público	foco	200	4000				4000	4000
33	2	Lavandería	foco	100	200	1 Lavad+1 Secad	4700	4700	4900	4900
Total Potencia (W):							33139,9	25289,95	56649,95	64499,9
Carga total en iluminación: 31,36 (Kw)									Necesarios	Instalados
									(Kw): 56,65	64,50

CARGA DIARIA DEMANDADA

La carga eléctrica diaria de la demanda es necesaria para hacer la distribución de esta a lo largo del día, ya que no toda la carga se utiliza al mismo tiempo, por esto que se hizo el estudio en campo de esta distribución obteniendo los siguientes datos de la siguiente tabla:

Tabla 2.10 Curva de carga diaria demandada

Carga diaria demandada		
Nº	hora	Potencia (W)
1	6 - 7	5281,225
2	7 - 8	30931,18
3	8 - 9	33028,33
4	9 - 10	33028,33
5	10 - 11	33028,33
6	11 - 12	33028,33
7	12 - 13	28899,95
8	13 - 14	28899,95
9	14 - 15	28899,95
10	15 - 16	28899,95
11	16--17	20394,95
12	17 - 18	20394,95
13	18 - 19	27742,95
14	19 - 20	29742,95
15	20 - 21	29742,95
16	21 - 22	29742,95
17	22 - 24	29742,95
18	24 - 6	8317,95

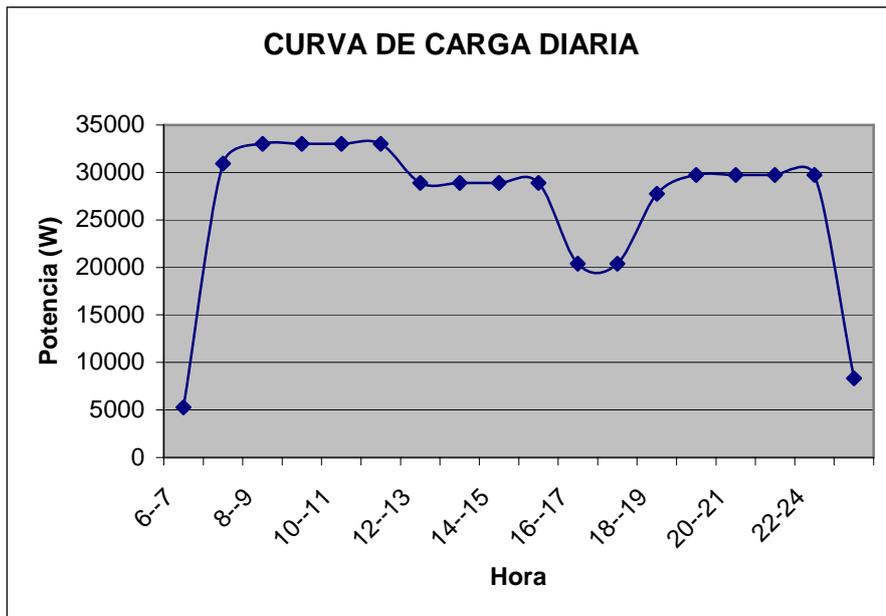


Fig. 2.9 Curva de carga diaria

2.4 Análisis del volumen del reservorio

Tabla 2.11 Caudal a turbinar diariamente y volumen de reserva (piscina)

Caudal a Turbinar		
Salto	20	(m)
Potencia de diseño (Carga diaria)	40	(Kw)
Caudal a Turbinar:	0,36	(m ³ /seg)
Constante: 5.5	363,64	(lit/seg)
	1309.09	(m ³ / 1hr)
Reservorio (Vol. útil de llenado) :		
V = f (horas de llenado):	2500	(m ³) útil
Altura del reservorio	3,50	(m) útil
Área del reservorio	714.28	(m ²)
Lado del reservorio	26.70	(m)

Por que: V: 2500 m³ (Cercano a 2073 m³)

- Volumen que falte al ingreso de la turbina = Volumen que llena el resto del día y/o noche

$$(0,363 - qi) \times Hs = qi \times (24 - Hs) \quad \text{Ec 2.13}$$

$$Hs = 24 \times \left(\frac{qi}{0,363} \right) \quad \text{Ec 2.14}$$

Donde:

Hs; horas de servicio **qi**; caudal que ingresa en m³/s.

Tabla 2.12. Comparación de caudales turbinados (varios escenarios)

Caudal mínimo: qi	(m³/tiempo)	Hs (hr.)
0,1ingresa	(m ³ /seg.)	6.61
	24-6 =18 hr.	6
6480	(m ³ /18hr)	
Caudal bajo:		Hs (hr.)
0,22 ingresa	(m ³ /seg.)	14.54
	24-15=9	15
7128	(m ³ /9hor)	
Caudal medio bajo:		Hs (hr.)
0,30 ingresa	(m ³ /seg.)	19.83
	24-20=4	20
4320	(m³ / 4hr)	

Primer volumen escogido: **4320 m³** (lo que llena en la noche)

- **Oferta del grupo hidráulico**

Tabla 2.13 Comparación de las eficiencias del grupo hidráulico

100 % cargado	90%	60%	50%	40%
363 lit. /seg.	327 (255)	218	182	145
56.8 Kw	51.1 (40)	34.1	28.1	22.4
81% rendimiento	81%	81%	80%	80%

% : rendimiento a la salida del eje de turbina

El caudal es variable a lo largo de todo el día.(Un ejemplo de: 8 hr. de servicio)

$$(0.327-0.255)*3600*8\text{hr. servicio} = 2073 \text{ m}^3 \text{ (Sobrante)}$$

$$2073 = (0.255-0.218)*3600\text{hr.} \quad (\text{Hr; reserva})$$

$$\mathbf{H r = 15.5 \text{ hr. (reserva)}}$$

$$15.5+8 = 23.5 \text{ hr. (total, luz todo el día)}$$

De acuerdo a estos dos métodos, escogemos el volumen de 2500 m³ que es superior al volumen mínimo reservado.

CAPÍTULO III

GRUPO ELECTROHIDRÁULICO

3.1 Datos Generales.

Transmisión mecánica.

Los mecanismos de transmisión se encargan de transmitir movimientos de giro entre árboles alejados. Están formados por un árbol motor (conductor), un árbol resistente (conducido) y otros elementos intermedios, que dependen del mecanismo particular.

Una manivela o un motor realizan la fuerza necesaria para provocar la rotación del árbol motor. Las diferentes piezas del mecanismo transmiten este movimiento al árbol resistente, solidario a los elementos que realizan el trabajo útil. El mecanismo se diseña para que las velocidades de giro y los momentos de torsión implicados sean los deseados, de acuerdo con una relación de transmisión determinada.

Clasificación según el movimiento

- Transmisiones entre ejes paralelos
 - Tren de engranaje simple
 - Poleas y cadenas
- Transmisiones entre ejes que se cortan
 - Engranajes cónicos rectos
 - Engranajes cónicos espirales
- Transmisiones entre ejes que se cruzan
 - Tornillo sin fin
- Transformación del movimiento
 - Mecanismo piñón / cremallera

Mecanismo tornillo / tuerca

Mecanismo biela / manivela

Mecanismo leva / seguidor

3.1.1 Turbinas hidráulicas

TURBINA. Las turbinas hidráulicas tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica de rotación.

Conviene subrayar que no hay información tan fiable como la ofrecida por los propios fabricantes de turbinas a los que conviene recurrir, ya en fase de anteproyecto, en caso de utilizar turbinas comerciales.

El hecho de utilizar uno u otro modelo de micro turbina dependerá fundamentalmente de la tecnología y capacidad técnica para construirlas en cada región. Actualmente se puede contar con los diseños y planos constructivos de cualquier modelo de micro turbina, proporcionados por instituciones tales como SKAT, GATE, VITA, CREDPHI, entre otros.

Las turbinas tipo hélice pueden ser más convenientes para proyectos de baja altura (inferiores a los 5 m), utilizando tecnologías sencillas y de bajo costo, como por ejemplo, los desarrollos realizados en China y otros países.

Para saltos con alturas entre 1 y 70 m, es usual desarrollar proyectos con microturbinas del tipo Mitchel-Banki, Cross-Flow o de Doble Acción, debido a su fácil construcción, bajo costo y altos rendimientos (aproximadamente 70%).

Es fundamental que el mantenimiento y montaje de las microturbinas puedan realizarse mediante procedimientos sencillos, sin necesidad de calibración y ajuste de los soportes de los rodamientos. Por ejemplo con rodamientos de rodillos y sobredimensionados, sujetos al eje por medio de un cilindro cónico (manguito) que permite un buen ajuste al eje de la turbina.

Para evitar la entrada de agua a la caja de rodamiento, en un principio pueden ser utilizados retenes, o bien el sistema denominado laberinto constituido por discos colocados sobre el eje, que por fuerza centrífuga desplazan el agua hacia afuera.

3.2 Clasificación

3.2.1 Turbinas de acción.

a. Turbinas Pelton

Son turbinas de acción en las que la tobera o toberas (una turbina de eje vertical puede tener hasta seis toberas, con uno o con dos rodetes) transforman la energía de presión del agua en energía cinética. Cada tobera produce un chorro, cuyo caudal se regula mediante una válvula de aguja. Suelen estar dotadas de un deflector, cuya misión es desviar el chorro para evitar que, al no incidir sobre las cazoletas, se embale la turbina, sin tener que cerrar bruscamente la válvula de aguja, maniobra que podría producir un golpe de ariete. Se utilizan en saltos entre 40 y 1200 m

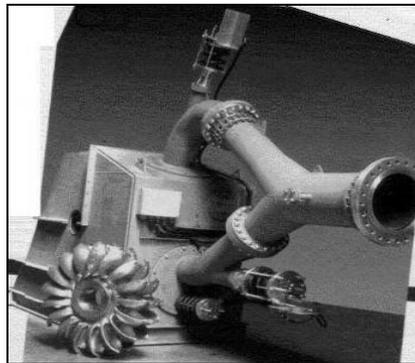


Fig. 3.1. Fotografía de una turbina Pelton

El eje de las toberas está siempre situado en el plano meridiano del rodete. El agua sale de las cazoletas a velocidades muy bajas (idealmente a velocidad cero) con lo que la carcasa que rodea al rodete no tiene que resistir ninguna presión.

2. Turbinas Turgo

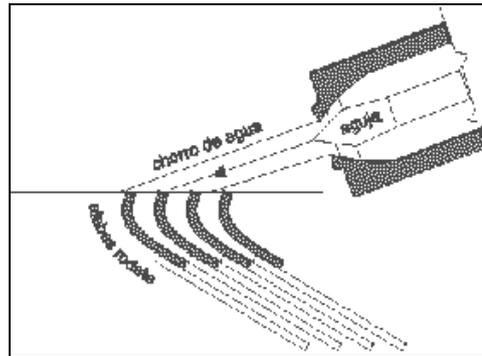


Fig. 3.2 Diagrama de inyección de turbinas Turgo

La turbina Turgo puede trabajar en saltos con alturas comprendidas entre 15 y 300 metros. Como la Pelton, se trata de una turbina de acción, pero sus alabes tienen una distinta forma y disposición. El chorro incide con un ángulo de 20° respecto al plano diametral del rodete, entrando por un lado del disco y saliendo por el otro. A diferencia de la Pelton, en la turbina Turgo el chorro incide simultáneamente sobre varios alabes, de forma semejante a como lo hace el fluido en una turbina de vapor.

Su menor diámetro conduce, para igual velocidad periférica, a una mayor velocidad angular, lo que facilita su acoplamiento directo al generador, con lo que al eliminar el multiplicador reduce el precio del grupo y aumenta su fiabilidad.

3. Turbinas de flujo cruzado (*Mitchell-Banki*)

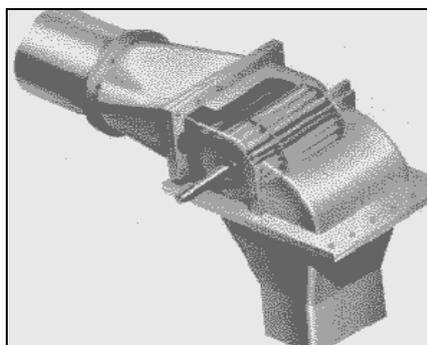


Fig. 3.3 Turbina Mitchell Banki

Esta turbina, conocida también con los nombres de Mitchell-Banki, en recuerdo de sus inventores, y de Ossberger, en el de la compañía que la fabrica desde hace más de

50 años, se utiliza con una gama muy amplia de caudales (entre 20 l/s. y 10 m³/s.) y una horquilla de saltos entre 1 y 200 m

Su rendimiento máximo es inferior al **87%**, pero se mantiene casi constante cuando el caudal desciende hasta el 16% del nominal, y tiene un mínimo técnico inferior al 10% del caudal de diseño.

El agua entra en la turbina a través de un distribuidor, y pasa a través de la primera etapa de alabes del rodete, que funciona casi completamente sumergido (incluso con un cierto grado de reacción). Después de pasar por esta primera etapa, el flujo cambia de sentido en el centro del rodete y vuelve a cruzarlo en una segunda etapa totalmente de acción. Ese cambio de dirección no resulta fácil y da lugar a una serie de choques que son la causa de su bajo rendimiento nominal.

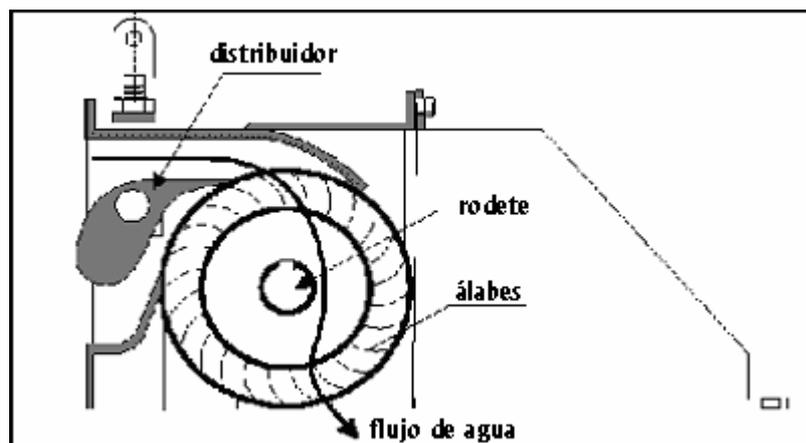


Fig. 3.4 Diagrama de operación

El rodete consta de dos o más discos paralelos, entre los que se montan, cerca del borde, unas laminas curvadas que hacen el papel de alabes. Estos rodetes se prestan a una construcción artesanal en países en vía de desarrollo, aunque naturalmente nunca alcanzarán los rendimientos de las unidades construidas con los medios técnicos apropiados

Si recordamos los criterios de elección, y analizamos la turbina Banki-Mitchell, resulta muy obvia su elección:

- Facilidad constructiva: el elemento principal, el rodete, consta de un par (o más) discos en los que se sueldan los alabes, que son de curvatura lineal, sin torsión. Tanto

el rotor como el adaptador, piezas fundamentales se pueden fabricar con láminas de acero soldadas y requieren un cierto fresado, con lo que cualquier taller agrícola podría hacer frente a su construcción.

- Rendimiento estable: se ha visto su estabilidad de rendimiento, incluso si no se optara por la realización de varias celdas de admisión, para escalonar el flujo entrante.
- Rango de operación: el rango de caudales y alturas es amplio, y permite llegar hasta 500 kW
- Robustez: no le afecta al funcionamiento la entrada de hierba, lodo, y además es expulsado por la propia fuerza centrífuga.
- Velocidad de embalamiento: su velocidad de embalamiento es 1,8 veces la velocidad nominal.
- Cavitación: No existen problemas

b. Turbinas de reacción.

1. Turbinas Francis

Son turbinas de reacción de flujo radial y admisión total, muy utilizadas en saltos de altura media, equipadas con un distribuidor de alabes regulables y un rodete de alabes fijos. La turbina Francis trabaja con saltos y caudales medianos logrando eficiencias entre **80 y 90%**. En las turbinas Francis rápidas la admisión sigue siendo radial, pero la salida tiende a ser axial. La turbina está fuertemente encastrada en el hormigón para evitar las vibraciones a bajo régimen.

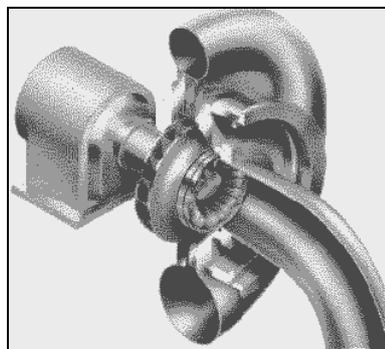


Fig. 3.5 Turbina Francis

En estas turbinas el agua se desplaza como encauzada en una conducción forzada, pasando del distribuidor fijo al rodete -móvil- al que cede su energía, sin entrar, en ningún momento, en contacto con la atmósfera. La figura muestra una turbina Francis de eje horizontal. En las turbinas Francis los alabes distribuidores que regulan el caudal de agua que entra al rodete giran accionados mediante bielas accionadas por un anillo exterior que sincroniza su movimiento. Destaca la importancia de la carcasa y su caracol, en contraste con la envoltura de una Pelton.

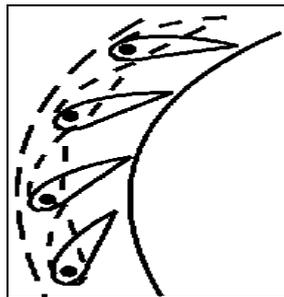


Fig. 3.6 Alabes de turbina

En la Fig. 3.6 se muestra los alabes en posición abierta (líneas continuas) y en posición cerrada (líneas discontinuas). En esta última posición la extremidad de un alabe se apoya completamente sobre el flanco del anterior, cerrando prácticamente el paso del agua al rodete.

Las turbinas Francis pueden ser de cámara abierta - generalmente para saltos de poca altura - o de cámara en espiral. En las turbinas con cámara en espiral, la carcasa, dependiendo del tamaño, se construye en hormigón armado, en acero soldado o en hierro fundido.

Al ser uniforme el volumen de agua que llega a cada alabe del distribuidor, el caudal que pasa por cada sección del caracol es proporcional al arco que le queda por abastecer.

Los alabes del rodete, cuando son pequeños suelen fabricarse en fundición de bronce al aluminio formando un solo cuerpo con el cubo. Cuando los rodetes son grandes los alabes, generalmente en chapa de acero inoxidable, se sueldan al cubo y a la llanta, generalmente en acero fundido.

En las turbinas de reacción, el agua a la salida del rodete, pasa antes de llegar al canal de descarga, por un tubo de aspiración o difusor, cuya misión es recuperar parte de la energía cinética contenida en el agua que abandona el rodete a una velocidad elevada.

Para disminuir la velocidad con que el agua llega al canal de descarga - la pérdida cinética es proporcional al cuadrado de la velocidad - se aumenta la sección de salida del difusor adoptando un perfil cónico. Su función es especialmente crítica en los rodetes de alta velocidad específica porque el agua sale de estos rodetes a una velocidad especialmente elevada.

2. Turbinas Kaplan

Son turbinas de reacción de flujo axial. Los alabes del rodete en las Kaplan son siempre regulables, mientras que los de los distribuidores, pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables la turbina es una verdadera Kaplan; si solo son regulables los del rodete, la turbina es una Semi - Kaplan. Para su regulación, los alabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manivelas, que son solidarias de unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.

Las turbinas Kaplan son de admisión radial mientras que las semi-kaplan puede ser de admisión radial o axial. También tiene un costo mayor que la del tipo Francis, pero por otra parte tiene la ventaja de que para iguales características de salto y caudal, funciona a mayor velocidad permitiendo emplear alternadores más reducidos y de menor costo.

Ventajas de turbinas de corriente continua DC

La energía puede ser acumulada en baterías y entonces con el inversor se puede usar una potencia mayor de la turbina. En éste caso se usa la potencia de la turbina, más la potencia de las baterías. La potencia máxima es la del inversor APS.

- Obviamente no se genera más energía con el sistema continuo, pero se presta más servicio, porque se puede atender mayores picos de consumo.
- El impacto ambiental es menor, porque se instala una turbina más pequeña, que "consume" menos agua. La regulación y mantenimiento por lo general son más fáciles.
- El costo del sistema es muchas veces menor que el de una microcentral con generación alterna.

Desventajas

- Las micro-centrales con generación de corriente continua DC tienen que tener para una red pública o privada de corriente alterna AC un inversor en la potencia máxima del consumo y muchas veces necesitan también un banco de baterías como carga y respaldo.
- El manejo de corrientes mayores de 500 V DC necesita tecnología avanzada.

Ventajas de turbinas de corriente alterna AC

- Las micro-centrales con generación de corriente alterna pueden generar la energía directamente apta para la conexión a redes públicos. Pueden trabajar directamente con transformadores en redes públicos o redes privados (tipo isla).

Desventajas

- Las micro-centrales con generación de corriente alterna tienen que tener una regulación exacta, para cumplir con la frecuencia y otros aspectos técnico de la red.
- En instalaciones privadas tienen que generar una potencia mayor que el consumo máximo previsto. Por ésta razón son generalmente más grandes.

3.3 Equipos eléctricos

3.3.1 Generador

Los generadores de energía eléctrica son dispositivos que permiten mantener una diferencia de potencial entre dos puntos, produciendo energía eléctrica a partir de otro tipo de energía. Ejemplo de generadores es: pilas, dinamos, acumuladores.

a. Fuerza electromotriz

La fuerza electromotriz (f.e.m.) de un generador es la potencia que produce cuando suministra a un circuito una corriente unitaria.

$$E = \frac{P}{I} \quad \text{Ec 3.1}$$

La magnitud de una fuerza electromotriz es la de un potencial y por lo tanto se mide en Voltios en el Sistema Internacional. Hay que tener en cuenta que son distintos conceptos: la fuerza electromotriz no es un potencial sino la causa de que exista una diferencia de potencial. Cuando un generador de f.e.m. proporciona a un circuito una corriente, no toda la potencia es aportada a dicho circuito sino que parte de ella se consume en el mismo generador. Como conclusión obtenemos que el rendimiento de un generador disminuye al aumentar la intensidad de corriente que proporciona.

Los generadores pueden ser de tres tipos principalmente:

- Generadores asíncronos.
- Generadores síncronos
- Alternadores de automóviles.

b. Generadores asincrónicos

Son los más utilizados en aerogeneradores por su gran simplicidad. Es una máquina de inducción con rotor en cortocircuito. Por tanto resulta una máquina barata y

fácil de conseguir. En la elección de los motores asincrónicos, es importante tener en cuenta algunos detalles constructivos como el de tener el menor espacio posible o **entrehierro** entre el rotor y el estator. Esta particularidad poseen generalmente los motores modernos contruidos con alta tecnología de matricería. También influye facilitando la excitación, el tipo de material utilizado en el eje del motor. Es importante contar con la posibilidad de ensayar en laboratorios los generadores asincrónicos existentes en el mercado local para conocer **sus limitaciones** y poder seleccionar los motores que presentan las mejores características.

VENTAJAS

- Gran simplicidad de construcción y mantenimiento.
- Gran variedad de potencias y r.p.m.
- Son sencillos y de bajo costo

DESVENTAJAS

- No puede producir potencia reactiva, lo que es un problema a la hora de conectar cargas
- Problemas relacionados con la regulación y estabilidad de tensión

c. Generadores sincrónicos

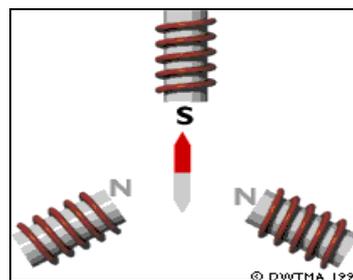


Fig. 3.7 Representación magnética de un generador sincrónico

Operación de un motor síncrono

La aguja de la brújula (con el polo norte pintado de rojo) seguirá exactamente el campo magnético, y completará una revolución por ciclo. En una red de 50 hz, la aguja

completará 50 revoluciones por segundo, lo que equivale a $50 \times 60 = 3000$ r.p.m. (revoluciones por minuto).

En la figura 3.7, hemos construido de hecho lo que se llama motor síncrono bipolar de imán permanente. La razón por la que se llama motor **síncrono** es que el imán del centro girará a una velocidad constante síncrona (girando exactamente como el ciclo) con la rotación del campo magnético.

La razón por la que se le llama **bipolar** es que tiene un polo norte y un polo sur. Puede parecerle tri-polar, pero de hecho la aguja de la brújula siente la tracción de la suma de los campos magnéticos que están alrededor de su propio campo magnético. Por tanto, si el imán de la parte superior es un polo sur fuerte, los dos imanes de la parte inferior equivaldrán a un polo norte fuerte.

Se llama motor de **imán permanente** debido a que la aguja de la brújula del centro es un imán permanente, y no un electroimán (se podría fabricar un motor real sustituyendo la aguja de la brújula por un potente imán permanente, o un electroimán que mantenga su magnetismo gracias a una bobina, arrollada alrededor de un núcleo de hierro, alimentada con corriente continua).

Al montaje con los tres electroimanes se le denomina **estator** del motor, porque es la parte del motor que permanece estática (en el mismo lugar). La aguja de la brújula del centro es el llamado **rotor**, obviamente porque es la parte que gira.

Operación de un generador síncrono

Si empieza a forzar el imán para que gire (en lugar de dejar que la corriente de red lo mueva) descubrirá que trabaja como generador, devolviendo corriente alterna a la red (debería tener un imán más potente para producir mucha electricidad). Cuanta más fuerza (par torsor) le aplique, mayor electricidad producirá, aunque el generador seguirá girando a la misma velocidad, impuesta por la frecuencia de la red eléctrica.

Puede desconectar completamente el generador de la red y construir su propia red eléctrica trifásica, enganchando bombillas a tres bobinas arrolladas a electroimanes.

Sin embargo, si desconecta su generador de la red principal tendrá que accionarlo a una velocidad de giro constante para que produzca corriente alterna a una frecuencia constante.

Por lo tanto, con este tipo de generador, normalmente querrá usar una conexión indirecta a red del generador. En la práctica, los generadores síncronos de imán permanente no son muy usados. Hay varias razones para que así sea. Una de ellas es que los imanes permanentes tienden a desmagnetizarse al trabajar en los potentes campos magnéticos en el interior de un generador. Otra de las razones es que estos potentes imanes (fabricados a partir de tierras raras, como el neodimio) son bastante caros, a pesar de que los precios han disminuido últimamente.

Reciben el nombre de “máquinas síncronas” las de corriente alterna que poseen un sistema magnético excitado con corriente continua. En estas máquinas existe una relación fija entre la frecuencia de la corriente alterna generada (la frecuencia es igual al número de periodos por segundo) y el número de revoluciones por unidad de tiempo, ya que si la rueda polar tiene p pares de polos ($2 p$ polos) y gira a n revoluciones por minuto; por tanto nos queda que:

$$f = p \times \frac{n}{60} \quad \text{Ec 3.2}$$

Para 50 hz: ($N= 3000/ p$)

P = 1 2 3 4 5 6

N = 3000 1500 1000 750 600 500

Características en los generadores.

- Potencia; Velocidad de embalamiento
- Constante de aceleración
- Parámetros eléctricos: Tensión de trabajo, relación de cortocircuito, reactancia síncrona.

Características constructivas de los generadores.

- A polos salientes,
- Disposición del conjunto turbina - alternador;
- Circuitos magnéticos y eléctricos (rotor y estator);
- Sistema de refrigeración;
- Otros sistemas: de sustentación y lubricación, frenado y levantamiento de rotantes.
- Golpe de ariete.

3.3.2 Regulación

Desde la invención del regulador de masas giratorias en 1785 por James Watt, muchos han sido los avances en el campo de la regulación. Hoy se ha llegado a estandarizar el uso de reguladores automáticos prácticamente en cualquier tipo de maquinaria. Las opciones de regulación son pues inmensas y de todo tipo: complicadas y sencillas; mecánicas o electrónicas; de ajuste fino o grosero; de corto tiempo de respuesta o largo; caras o baratas.

Necesidades de regulación en generadores síncronos

Basándose en las explicaciones, acerca del generador síncrono en red aislada, será necesaria la regulación de la velocidad de giro del mismo, y por lo tanto de la turbina hidráulica a la que está acoplado.

La producción de electricidad con una serie de especificaciones es una de las más difíciles cuestiones de diseño a superar en el diseño de una micro-turbina. La corriente para la que están preparados la mayoría de los aparatos tiene como características una frecuencia estable de 50 hz. (60 hz. según el país en que nos encontremos) y un determinado voltaje, de 110 V, 220V, 380V .

Los aparatos requieren una corriente de este tipo, que no oscile más allá de un (10% en frecuencia y voltaje. Por ejemplo, un motor preparado para 220V al que se le alimenta con 198V, límite inferior del margen de funcionamiento, buscará satisfacer las necesidades de carga que se le impongan. Para aportar la potencia necesaria, con una

cantidad menor de voltaje, se requerirá un aumento en la intensidad. Con ello se pueden crear problemas de sobrecalentamiento y dañar los bobinados de forma permanente.

El funcionamiento fuera de la banda hertziana recomendada supone también la creación de condiciones de sobrecalentamiento, debido a fenómenos con la reactancia e impedancia. No vamos a entrar en este análisis.

La conclusión realmente importante es que se precisa operar los generadores en una banda de voltaje y frecuencia próxima a la establecida. (Ello determinará el buen funcionamiento de los equipos conectados y su esperanza de vida).

Para la conexión a red se precisaría de controles más exactos. En este tipo de proyectos se propone como objetivo primordial electrificar en red aislada zonas de pequeñas comunidades que por cuya ubicación en un territorio concreto, y por la coyuntura sociopolítica de su región o país, no habrían de optar al beneficio de la red eléctrica más que con el paso de muchos años. Por ello la cuestión de adaptabilidad de la electricidad generada a la red no se toma como un requisito primordial.

a. Regulación mecánico-hidráulica de la velocidad

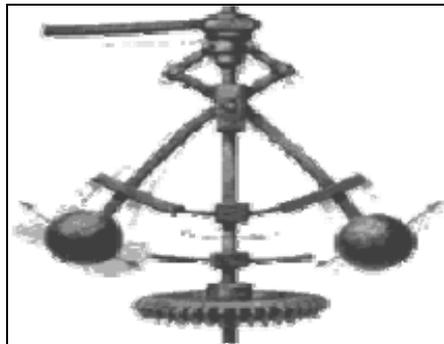


Fig. 3.8 Regulador de masas giratorias

La regulación en velocidad en las micro-centrales hidráulicas pueden ser solucionadas de muchas formas. Hay un dispositivo sencillo que proviene de la revolución industrial, y que permitió los primeros pasos en la regulación, como fue por ejemplo la máquina de vapor. Este dispositivo bien conocido se muestra en la figura 3.8 y se trata del regulador de masas giratorias inventado por James Watt en 1785.

Es un mecanismo de palanca que se encarga de elevar o disminuir la altura de una barra que se conecta con el acelerador de la máquina. De esta forma, cuando la máquina se comienza a poner en marcha, el acelerador se encuentra totalmente abierto, proporcionando una mayor potencia para acelerar la máquina. Poco a poco la máquina se acelera, de forma que las esferas giran aumentando su fuerza centrífuga, y por consiguiente desplazándose en sentido vertical. Esta elevación supondrá una actuación sobre la barra conectada con el acelerador, cerrando poco a poco el mismo. Con ello se llega a un punto de equilibrio.

En el caso de que se aumente la carga, existirá una desaceleración, y bajarán las esferas, con lo que el acelerador se abrirá más y permitirá la entrada de combustible acelerando la máquina hasta el punto de equilibrio. El caso contrario ocurre en el caso de que se disminuya la carga y aumente con ello la velocidad. Esta es una forma de regular la velocidad de un mecanismo. Los reguladores mecánicos actuales operan de un modo similar a los que se diseñaron hace ya tanto tiempo.

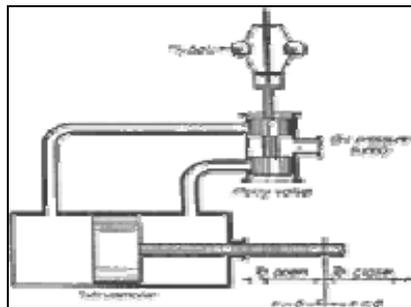


Fig. 3.9 Mecánica hidráulica del primer regulador de Watt.

b. Regulación mecánico-hidráulica de la carga

La regulación de la entrada de caudal de agua a la turbina puede realizarse, siendo una tarea algo compleja. Por ello, se puede realizar una regulación de la carga aplicada a la red. El concepto consiste en operar la turbina Banki-Mitchel de forma continuada y en el punto óptimo de funcionamiento. Si acontece una disminución en la carga de los beneficiarios a los que se les da soporte, la turbina tenderá a embalsarse. Para evitarlo se pretende aumentar la carga eléctrica conectando baterías de resistencias, calentadores de agua, bombas para elevación de agua, al acelerador (escobilla de conexión) del regulador.

La propuesta es la siguiente: basándose en un regulador de Watt, cuando aumente la velocidad, ascenderán las masas, desplazando verticalmente la corredera. De esta forma se puede activar de forma mecánica (por desplazamiento de una escobilla de conexión) las diferentes cargas necesarias. Llegará un momento en el que la carga será mayor que el par recibido en la turbina por el paso del agua, con lo que comenzará el movimiento de retorno típico de las oscilaciones.

Puede realizarse una compensación primaria como la explicada en el apartado anterior. Así la conexión de baterías u otros elementos no se realizaría solamente por medio del avance de la corredera del regulador de Watt, sino que en cuanto existiera un movimiento, comenzaría a actuar directamente otro elemento.

d. Regulación electrónica

La idea es la misma, se trata de añadir cargas cuando la demanda de energía de los beneficiarios disminuye. Se debe realizar de una forma sencilla. A continuación se presenta una idea simple y realizable.

Se trata de detectar los aumentos en la velocidad del generador que se traducen en sobre tensiones. Se acoplan transformadores de tensión en la rama de salida del generador. Cuando existe un aumento de tensión, se *transforma al secundario a un nivel de voltaje pequeño*, y se compara en una etapa diferencial realizada con amplificadores operacionales. La salida de este se compara con un nivel establecido, *por ejemplo 1 a 2 voltios*. Según sigue aumentando el voltaje a la salida del generador, igualmente aumenta la tensión a la salida de la etapa diferencial, hasta superar el límite establecido. Una vez que eso ocurre, la salida del comparador cambia y se pone en alto (o bajo según se haya implementado) conectando un interruptor (o relés) que conectará a la red la batería de resistencias asociada.

Con la misma señal del transformador se alimentan el resto de etapas comparadoras, que se han escalonado convenientemente. Así, si la tensión continúa subiendo, se irán conectando sucesivamente más y más cargas hasta que se estabilice.

Grupos Reguladores.

Armario, IP 66

- Captador hidro-estático de presión para registro de nivel
- Portasen sor con tubo protector, de una construcción de acero galvanizada al fuego, a ser fijado a la muralla de entrada
- Caja de bornes, tipo de protección IP 66, revestida de polvo, con protección instalada contra las sobre tensiones y alivio de tracción del captador
- Cascada protectora contra sobre tensiones con diodo supresor y distancia de chispa gas, corriente nominal de descarga 10 KA
- Generador tacimétrico sin escobillas de eje hueco, montado a la turbina en los talleres y servicio sin entretenimiento ni abrasión por el propio soporte del tacímetro

Armario, IP 42,

- Con dispositivos de instalación de frente y placa equipada de Interruptor principal
- Transformador de mando
- Unidad multi-funcional de libre estructuración, encargándose de todas tareas de cálculo, regulación y control.
- Cascada protectora contra sobre tensiones para la sonda con diodo supresor y distancia de chispa gas, corriente nominal de descarga 10 KA
- Cascada protectora contra sobre tensiones para la tensión de control corriente transitoria nominal de descarga 2.5 KA
- Selector modos de servicio
- Guarda motor para la bomba hidráulica
- Dos advertidores luminosos - planta lista al servicio y planta a la red
- Bornes de ensayo permitiendo una puesta en marcha más rápida y segura
- Generador tacimétrico sin escobillas de eje hueco, montado a la turbina en los talleres
- Servicio sin entretenimiento ni abrasión por el propio soporte del tacímetro

- Transmisores de ángulo rotativo con electrónica integrada, montados a la turbina en los talleres
- Sin abrasión por receptor de ángulo capacitativo marchando sin contacto
- Acoples de fuelle sin juego, destinados a la transmisión eficiente de las posiciones de alabes directrices

Grupo oleo-hidráulico.

- Caja de aluminio moldeada bajo presión, de 40 litros de capacidad
- Bomba de engranajes accionada por motor, motor 550 W, bomba 2,7 litros/m
- Acumulador de presión con un producto presión-litros $< 200 \implies$ ningún chequeo oficial repetido
- Dos limitadores ajustables de presión
- Dos manómetros 0 - 40 bar para presión efectiva
- Manómetro 0-100 bar para presión de sistema
- Dos válvulas proporcionales directamente controladas, con realimentación eléctrica de rutas y electrónica integrada de mando
- Dos válvulas de asiento para paro de emergencia sin referencia a las válvulas reguladores, Filtro de retorno; con derivación e indicación visual de ensuciamientos
- Brazos de palanca: de material sólido, permitiendo una abertura segura de los alabes directrices de turbina, adaptados al ángulo de abertura de turbina
- Contrapesos permitiendo un cierre seguro de la turbina sin energía externa
- Placa de base de cilindro con rodamiento articulado

3.4 Selección del grupo hidráulico

3.4.1 Tipo de turbina

Un caudal y una altura de salto definen un punto en el plano. Cualquier turbina dentro de cuya envolvente caiga dicho punto, podrá ser utilizada en el aprovechamiento en cuestión.

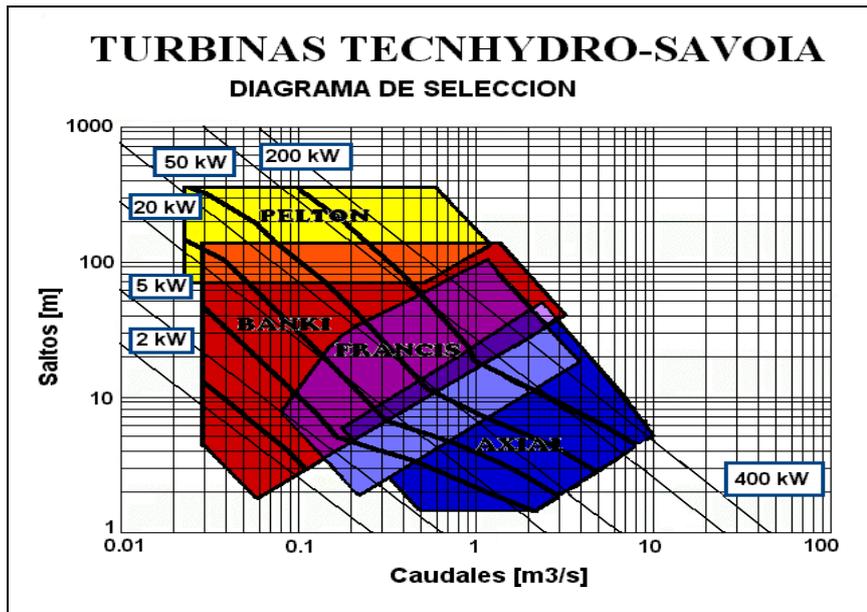


Fig. 3.10 Diagrama de selección de turbinas

La elección final es por lo general el resultado de un proceso iterativo, que balancee la producción anual de energía, el costo de adquisición y mantenimiento, y su fiabilidad. En nuestro caso nos determinaremos por la turbina banki (Ossberger), lo cual queda justificado más adelante. Pero cabe adelantar que tiene mucho que ver con los aspectos citados y con su rango de actuación propicio para el tipo de instalación que se pretende desarrollar.

VELOCIDAD ESPECÍFICA

A n_s se la conoce como velocidad específica. Todas las turbinas con idénticas proporciones geométricas, aunque los tamaños sean diferentes, tendrán una misma velocidad específica. Si el modelo se ha afinado para que el rendimiento hidráulico sea óptimo, todas las turbinas con la misma velocidad específica, tendrán también un rendimiento óptimo. El rodete girará a la velocidad específica n_s cuando esté funcionando con un caudal Q tal que produzca una potencia de 1 kW con una altura de 1 metro:

$$n_s = n^* \sqrt{\frac{P}{H^4}} \quad \text{Ec 3.3}$$

Algunos fabricantes toman como velocidad específica otro parámetro, n_s , cuya expresión viene dada por:

$$n_s = n * \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Ec 3.4}$$

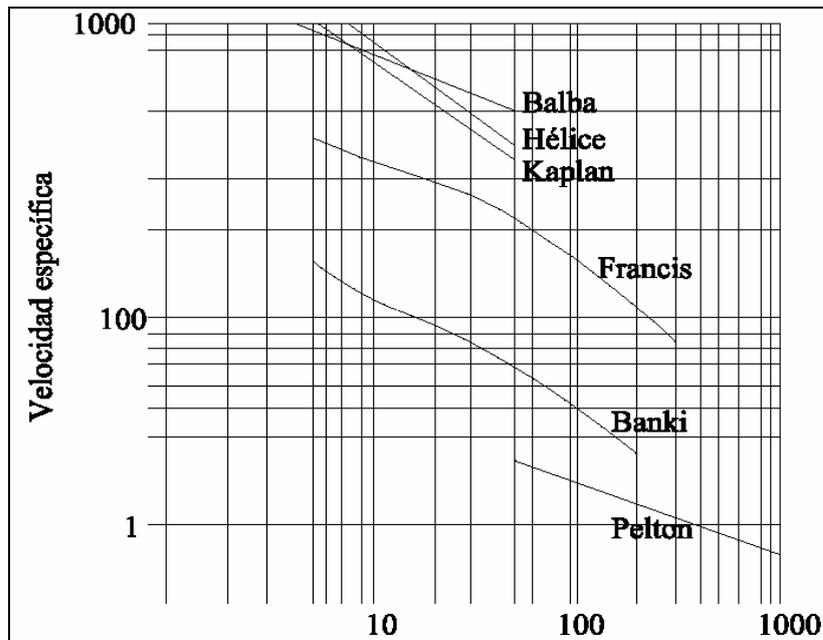


Fig. 3.11 Curvas de velocidad específica para turbinas hidráulicas (vs li./seg.)

La velocidad específica constituye un excelente criterio de selección, más preciso sin duda que el más convencional y conocido de las envolventes operacionales que acabamos de mencionar. Por regla general los fabricantes de equipos anuncian el valor n_s de sus turbinas. Gran número de estudios estadísticos sobre aprovechamiento muy diversos, ha permitido correlacionar, para cada tipo de turbina, la velocidad específica con la altura de salto neto. Conociendo la velocidad específica se pueden estimar las dimensiones fundamentales de las turbinas. No vamos a entrar en este terreno, y nos conformamos con conocer el sentido de la velocidad específica.

Nuestro caso:

Si queremos generar energía eléctrica en un aprovechamiento con un salto neto de 20 metros, utilizando una turbina para 40 Kw. directamente acoplada a un generador standard de n r.p.m., empezaremos por calcular la velocidad específica, según la ecuación siguiente:

$$n_s = n * \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad \text{Ec 3.3}$$

donde:

$$n = 40 * \frac{\sqrt{H}}{De} \quad \text{Ec 3.5}$$

donde:

De es diámetro del rodete(300mm)

$$n = 40 * \text{sqrt}(20)/0.3 = 597 \text{ RPM}$$

n standard: 600-800 RPM (generador)

$$n_s = (600 * \text{sqrt}(40)) / 20^{1,25} = 58.33 \gg 60$$

De lo que se deduce que la mejor elección posible sería una turbina:

Banki Mitchell o una turbina Francis.

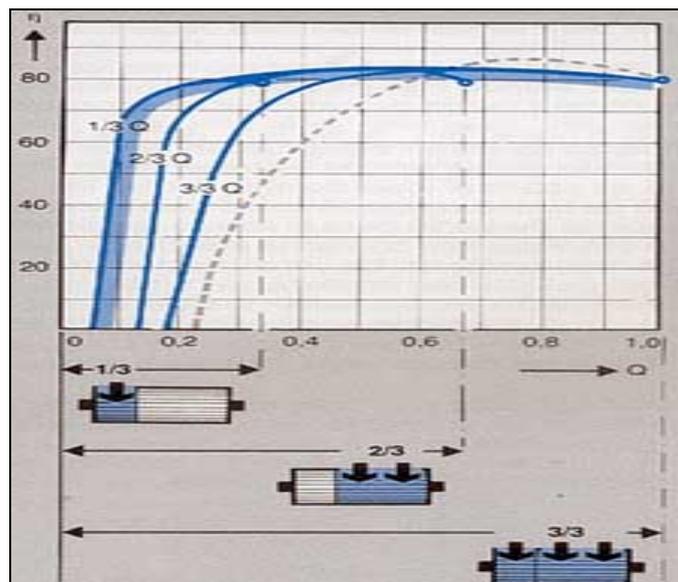


Fig. 3.12. Rendimiento de una turbina OSSBERGER obtenida a partir de las 3 curvas de rendimiento de una división de 1:2:3, en comparación con una turbina Francis

Tabla 3.1 Selección del tipo de turbina

MATRIZ DE DECISION, POR PUNTOS			
Nº	Característica/ Método	Turbina Francis	Turbina Mitchell banki
1	Rango de operación	3	3,5
2	Rendimiento	2	3
3	Cavitación	1	2
4	Embalamiento	2,5	3
5	Costo y MTTO	2	3
SUMA:		10,5	14,5
Nota: El método elegido es el de mayor puntaje: Mitchell banki			

3.4.2 Partes del grupo (Turbina, Regulador, Generador)

De acuerdo a la oferta hecha por la empresa Ossberger, que son los fabricantes exclusivos de turbinas Banki, nos ofrecen en el grupo hidráulico las siguientes características:

TURBINA

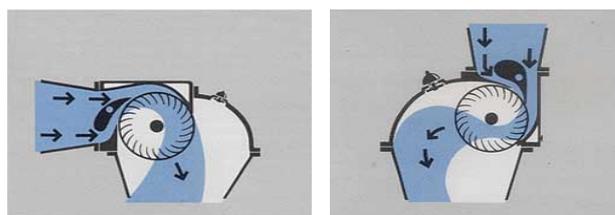
Las turbinas Mitchell banki fabricadas por OSSBERGER siempre son adaptadas individualmente a las condiciones de servicio (caída/caudal) existentes en un determinado salto de agua.

Campo de aplicación:

caídas: $A = 1-200$ m

caudales: $Q = 0,025$ a 13 m³/s.

potencias: $P = 1 - 1500$ Kw.



Entrada horizontal de
agua

Entrada vertical de
agua

Fig. 3.13. Tipos de entrada en una turbina OSSBERGER

Componentes específicos de la turbina hidráulica Ossberger, tipo sh. 3.036/7 i g

Modelo de aspiración, turbina de	1 compartimento
Previsto para una caída neta de:	19,7 metros
Y un caudal de:	363 l/s.
Velocidad de la turbina:	600 r.p.m.
Velocidad de embalamiento de la turbina referente a la caída neta arriba mencionada:	1250 r.p.m.

Potencia garantizada en kW:

<u>100 %</u>	<u>90 %</u>	<u>60 %</u>	<u>50 %</u>	<u>40 %</u>	cargado
56,8	51,1	34,1	28,1	22,4	kW al árbol de turbina
363	327	218	182	145	lit./seg. consumo agua
81 %	81 %	81 %	80 %	80 %	R Rendimiento

Turbina, compuesta de:

- Rodete con 300 mm Ø, con eje y alabes demat. no 1.0038 y 1.0038, rodamientos auto-centrantes como cojinetes principales según la patente Ossberger.

Caja de turbina de acero, no. 1.0038, eléctricamente soldada, elementos principales brindados, directrices de turbina fabricadas de acero, no. 1.0038, cojinetes permaglides® sin mantenimiento.

REGULADOR de CARGA CONSTANTE LTR 3Ph.

El Regulador de Carga Constante LTR Ph. se compone de una unidad de potencia y una de mando.

La unidad de potencia incluye los siguientes elementos:

Unidad electrónica completa para el mando de la unidad de potencia. La unidad es del tipo enchufable. El regulador completo está montado sobre una placa base, ésta viene montada en un armario metálico de plancha de acero. El cuerpo de refrigeración del módulo de tiristores se ubica lateralmente en el exterior, para la disipación directa de las pérdidas calóricas.

A partir de una potencia de 40 kW se monta adicionalmente un ventilador.

Todos los terminales son llevados a una regleta de bornes y codificados. Las entradas de cables son desde abajo.

En la placa frontal van montados:

- Voltímetro
- Amperímetro Generador
- Amperímetro excedente
- Frecuencímetro de aguja

Funcionamiento

Con el Regulador de Carga Constante LTR 3Ph se regula la velocidad del generador mediante la potencia. Esto significa, que al aumentar las revoluciones del generador sincrónico debido a la desconexión de cargas, aumenta también la frecuencia proporcionalmente a las revoluciones.

Debido a que la electrónica de mando es dependiente de la frecuencia, llegan a los tiristores impulsos más grandes, aumentando el corte de fase. Con esto aumenta también la tensión efectiva de salida en el regulador, es decir se incrementa la potencia en los elementos calefactores. Esto a su vez tiene como consecuencia que la potencia eléctrica permanece constante, y con eso obviamente también las revoluciones.

Si se conectan consumidores adicionales, comienzan a bajar las revoluciones del generador y el regulador de potencia reacciona en el sentido opuesto.

Con los potenciómetros configurados en una placa, se puede ajustar la característica del regulador. Con esto se puede adaptar el regulador en forma óptima prácticamente a cualquier generador.

GENERADOR TRIFÁSICO

Generador trifásico de tensión constante, sin escobillas, autorregulado y auto-excitado por rectificadores rotativos, con jaula de amortiguación para marcha en paralelo, con aislamiento tropical, equipado para la velocidad de embalamiento

Potencia:	62,5 kVA
Factor de potencia:	0,8
Voltaje:	400 V
Velocidad:	600 r.p.m.
Velocidad de embalamiento:	1250 r.p.m.
Frecuencia:	60 C
Tipo de construcción:	B 3
Tipo de protección:	IP 23
con un juego de tacos de fundación	

3.5 Obras Civiles.

Los distintos componentes de la ruta de abastecimiento de agua para una microcentral hidráulica son:

- Barraje de derivación
- Toma de ingreso
- Compuertas de regulación
- Aliviaderos
- Desarenador

- Canal
- Cámara de carga
- Tubería de presión
- Apoyos de tubería
- Anclajes de tubería

Para el diseño de estos componentes es necesario tener en cuenta una serie de factores esenciales:

Sedimento.

El agua del río acarrea pequeñas partículas de material duro y abrasivo que pueden ocasionar daños considerables a la turbina, así como su rápido desgaste, si no son extraídas antes de que el agua entre a la tubería de presión. El sedimento puede producir además, el bloqueo de la toma en caso de que el barraje y el ingreso al canal no se encuentren correctamente ubicados.

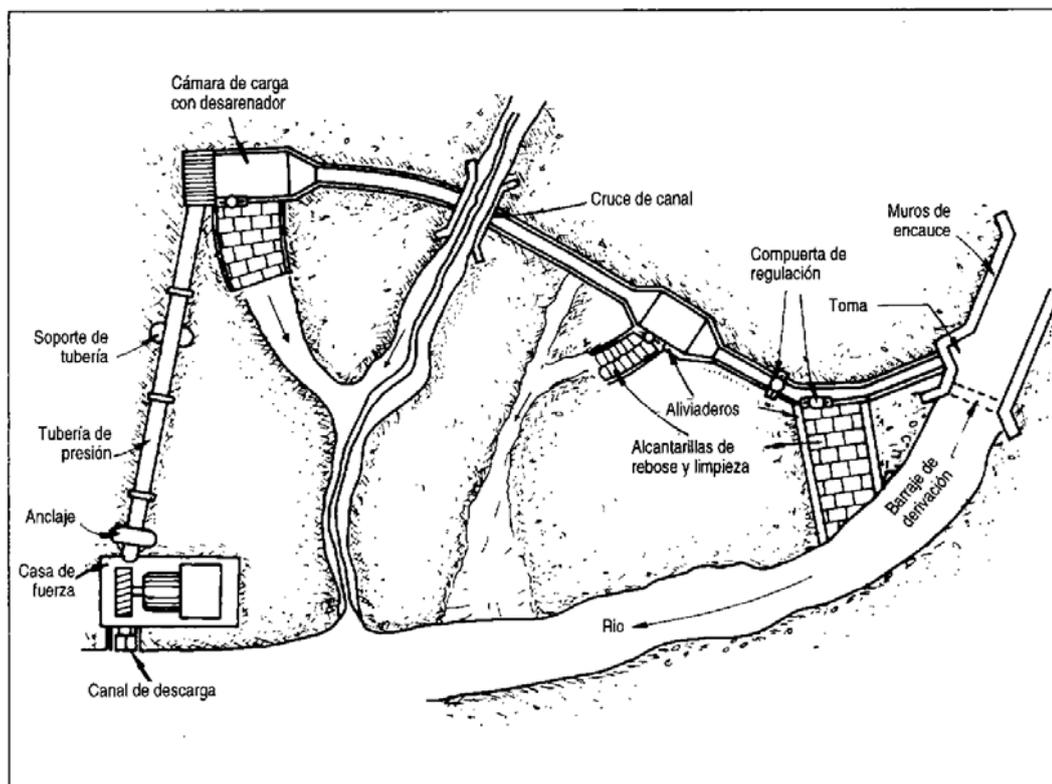


Fig. 3.14. Componentes de una microcentral hidráulica

Caudal Adecuado

El caudal de río varía durante el año, pero la microcentral está diseñada para captar un caudal de agua constante. Si ocurriera una sobrecarga en el canal, inevitablemente se producirán daños. La bocatoma debe, en lo posible, derivar el caudal adecuado hacia el canal, sea que el río tenga mucha o poca cantidad de agua.

La función principal del barrage es asegurar que el caudal del canal se mantenga, incluso en época de estiaje. Por otro lado, la función principal de la estructura de la toma del canal, es regular el caudal dentro de los límites razonables cuando el río tiene mucho volumen de agua. Posteriormente, los aliviaderos controlan o regulan la cantidad de agua en el canal.

Avenidas

Las avenidas requieren especial atención por parte del proyectista. Las aguas de avenida acarrearán gran cantidad de material e inclusive hacen que grandes piedras rueden a lo largo del lecho del río. Todo aquello puede dañar el barrage de derivación, la estructura de la toma del canal y los muros de encauce, si es que no han sido cuidadosamente diseñados.

Turbulencia

Otro aspecto importante que requiere atención es el efecto de la turbulencia en el flujo de agua. En todas las secciones de conducción de agua, incluyendo el canal y la bocatoma, los cambios bruscos en la dirección de agua crearán turbulencias que erosionarán las estructuras, ocasionando pérdidas de energía y acarreo de sedimentos.

Pérdidas de salto

Dado que la potencia desarrollada por la turbina depende en gran medida de la presión del agua a la entrada de ésta, es claro que el canal no debe perder salto indebidamente. Además, la tubería de presión deberá estar dimensionada de manera tal que las pérdidas por fricción no reduzcan excesivamente el salto.

Golpe de ariete

Si el flujo de agua en la tubería se detiene bruscamente, se originarán sobrepresiones muy altas llamadas golpe de ariete. La tubería debe ser lo suficientemente fuerte como para no romperse cuando esto suceda. Por otro lado, tales presiones harán que la tubería se mueva, lo que ocasionará daños si los anclajes no son resistentes.

3.5.1. Bocatoma

Las bocatoma son obras hidráulicas cuya función es captar y regular un determinado caudal de agua, en este caso, para la producción de hidroenergía, sea esta mecánica o eléctrica. Las bocatoma nos permiten tomar el agua de los ríos y conducirla aprovechando la fuerza de la gravedad.

Funciones de la bocatoma.

Las bocatoma deben cumplir las siguientes funciones:

- Garantizar la captación de una adecuada cantidad constante de agua, especialmente en épocas de estío.
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en las épocas de lluvia.

Ubicación.

La ubicación más apropiada para una bocatoma es en los tramos rectos y estables del río, dependiendo de la topografía y la geología, el comportamiento de los suelos y, principalmente, de las variaciones hidrológicas del lugar que nos servirá de emplazamiento. Todos estos factores deben ser analizados por especialistas.

Es muy importante señalar que las condiciones naturales, en lo posible, deben ser preservadas.

Desde el punto de vista del curso del río, la mejor ubicación para las bocatomas corresponde a los tramos rectos y estables del mismo (Fig 3.15.).

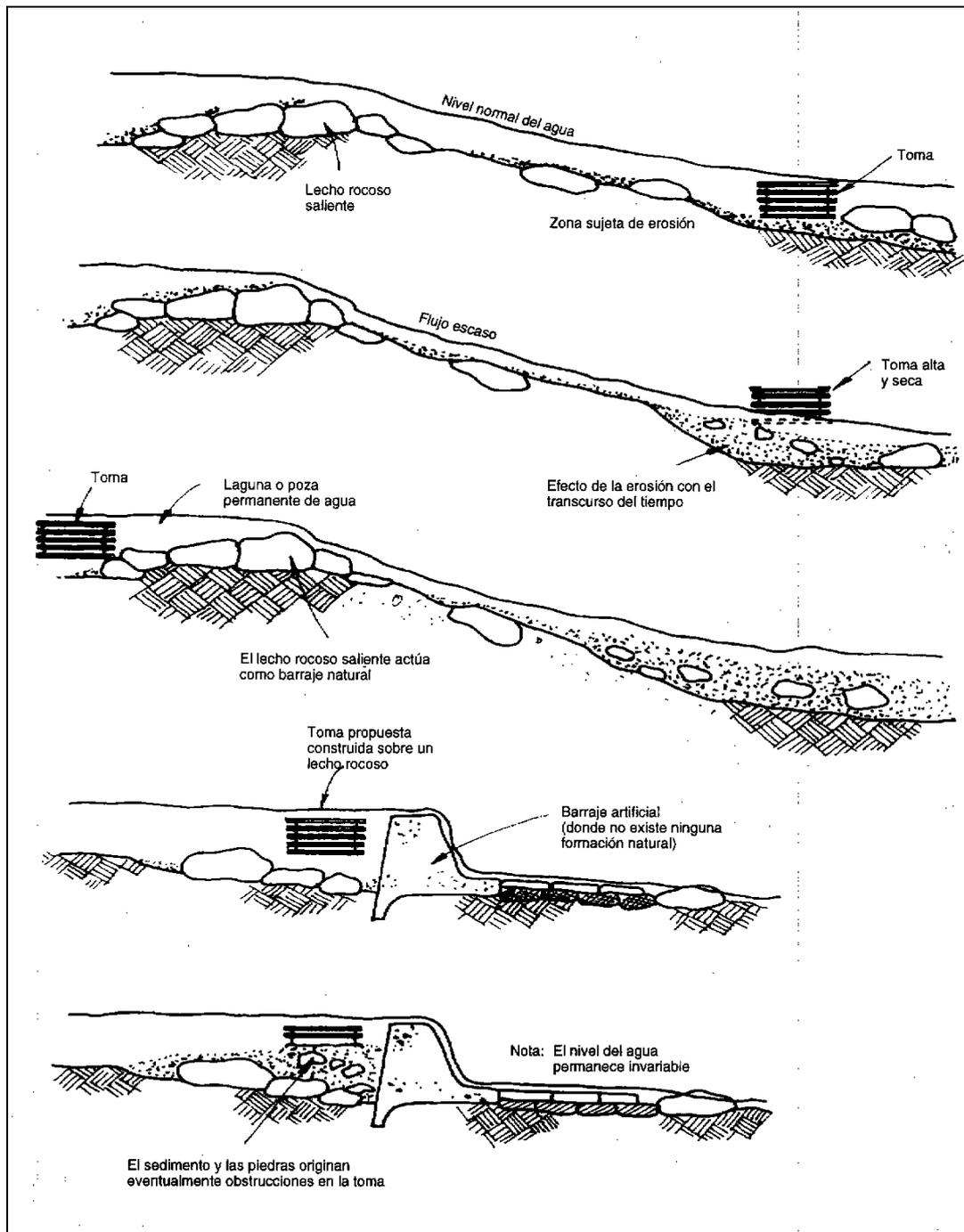


Fig. 3.15. Ubicación de la bocatoma y empleo de un barraje de derivación.

En caso de no contarse con esas condiciones, preferentemente se ubicarán en los primeros tramos de la curva y siempre en la parte convexa. Los tramos finales de una curva convexa estarán muy expuestos a los embates de las crecientes y de las velocidades erosivas, mientras que la zona cóncava es probable que pueda colmarse fácilmente.

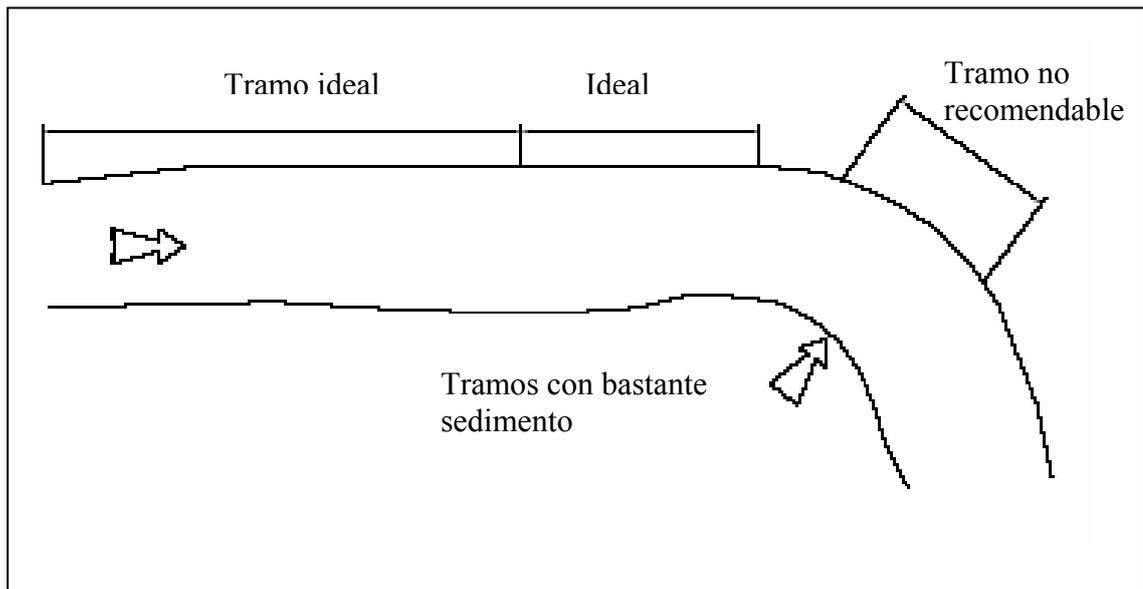


Fig. 3.16. Ubicación de la bocatoma

Partes de una bocatoma.

a. Barraje

Es una estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas y se construye en sentido transversal al río con fines de captación, siempre y cuando sea necesario. Es decir, en aquellos casos en que el tirante del río no sea lo suficientemente grande y no abastezca los requisitos de captación.

Dependiendo de la relación entre los caudales del río y la captación, algunas veces (cuando el tirante del río permite el acceso al caudal de diseño a través de la

ventana de captación, es decir, cuando la cota del río es mayor que la cota inferior de la ventana de captación), no es imprescindible construir el barraje.

Los barrajes pueden tomar diferentes nombres: barrajes de derivación, vertederos de derivación, cortinas, presas derivadoras, tanques o azudes.

Presas derivadoras o azudes

El azud es un tipo de barraje -una represa vertedora- cuya función es captar y dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no debe ingresar al sistema. Es represa porque levanta el nivel del agua, y vertedora porque deja pasar el agua no tomada.

Las presas vertedoras o de barraje fijo se emplean en los casos de ríos con pequeños caudales, cuando el caudal de derivación es superior al 30% del caudal del río en estío. Cuando el caudal es menor al 30% del estiaje del río, la entrada al bocal se puede mejorar mediante diques de guía o espigones.

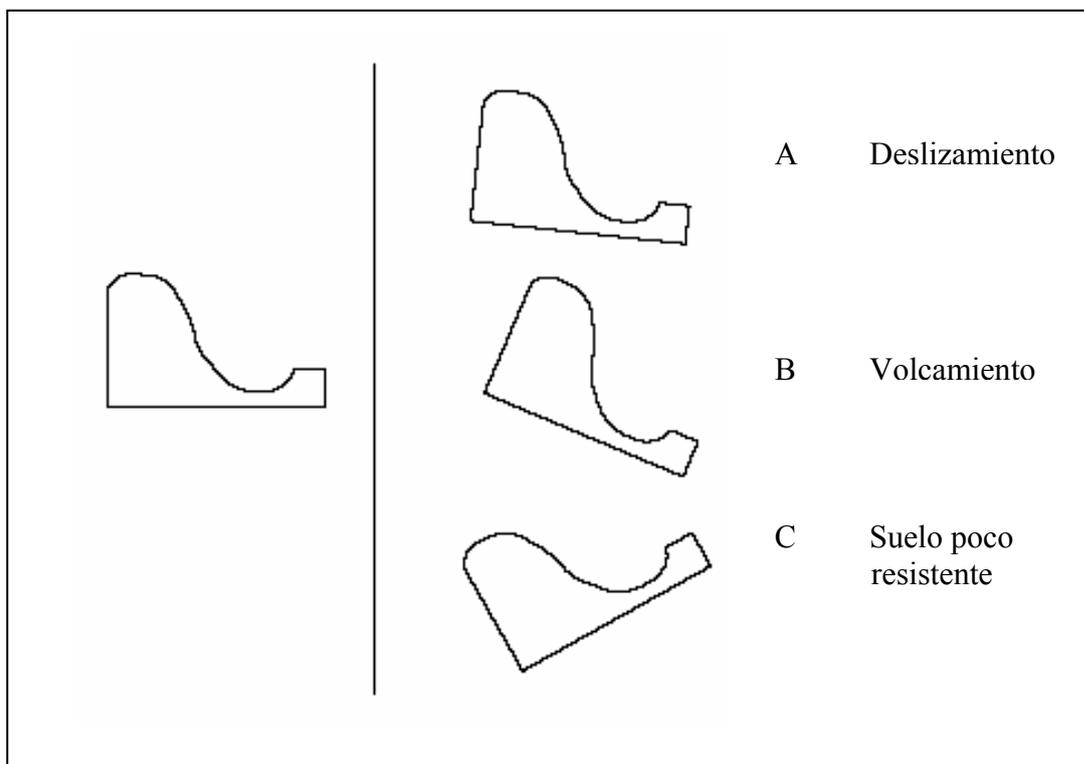


Fig. 3.17. Factores que provocan inestabilidad en un azud mal diseñado

Es necesario que el azud sea hidráulico y este estructuralmente bien diseñado. Asimismo, debe ser ubicado de manera tal que las descargas del vertedor no erosionen ni socaven el talón aguas abajo. Las superficies que forman la descarga del vertedor deben ser resistentes a las velocidades erosivas creadas por la caída de las aguas desde la cresta.

Asimismo debe ofrecer seguridad frente a deslizamientos, volteos y asentamientos diferenciales, así como frente al sifonamiento o tubificación. Debe tener la menor altura posible a fin de que la perturbación causada afecte en grado mínimo el régimen natural del río, pero al mismo tiempo tener la suficiente capacidad para conducir caudales máximos probables. Es decir, hay que tener en cuenta las avenidas.

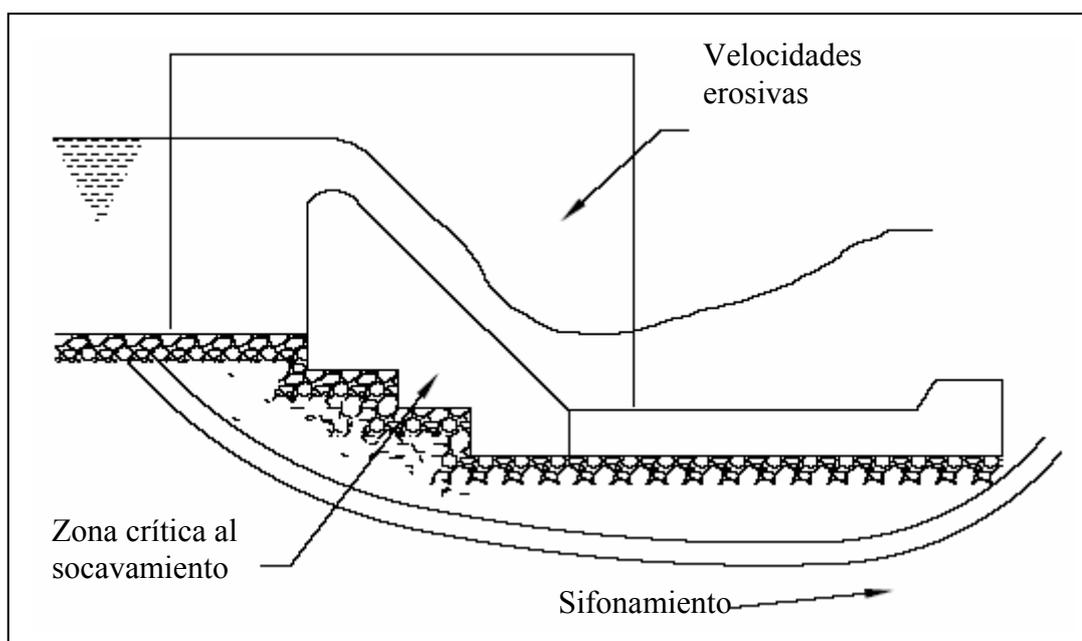


Fig. 3.18. Fuerzas hidráulicas que afectan a la estructura del azud

b. Descarga de fondo

Se llama así a la compuerta metálica que sirve para eliminar los materiales de acarreo que se acumulan delante del barraje. En algunos casos, esta compuerta es parte del barraje. Su operación se realiza desde un puente construido por encima de dicho barraje.

c. Solera de captación

Se trata de una losa o piso a desnivel respecto de la antecámara o piso de la bocatoma, cuyo objetivo es crear un pozo de sedimentación donde se depositen los materiales de suspensión.

d. Antecámara o zona de decantación

Es el área que por su desnivel respecto de la solera de captación esta destinada a recibir y acumular los materiales de acarreo del río. Su cota será la misma que la del río y aproximadamente 30 cm. menor que la solera de captación.

e. Reja de admisión

Antes de la compuerta de admisión de agua al canal de conducción, es conveniente colocar una reja de 5 cm. de abertura como máximo. Esta impedirá el ingreso de pedrones y materiales flotantes que puedan afectar el funcionamiento del canal.

f. Compuerta

Es un dispositivo (generalmente metálico o de madera) que sirve para controlar, regular o impedir el acceso de agua del río al canal de conducción.

g. Canal

El canal es una estructura hidráulica de forma regular artificialmente construida, que en razón de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. En nuestro caso (MCH), casi siempre se trata de conductos abiertos de sección muy diversa (rectangulares, trapezoidales, semicirculares o, muchas veces, de sección irregular, tal como se aprecia a continuación en la figura 3.19.

h. Vertederos o aliviaderos

Estas estructuras facilitan la evacuación de caudales de agua excedentes o superiores a los que se desean captar.

En época de estiaje deben construirse obras complementarias o auxiliares que permitan la circulación normal de aquellos volúmenes que no se desea que ingresen al sistema. Durante las crecidas los caudales excepcionales serán evacuados por los vertederos. Si dichos caudales llegaran a ingresar al sistema podrían generar problemas de imprevisibles consecuencias. Los vertederos, pues, también cumplen una valiosa función de protección.

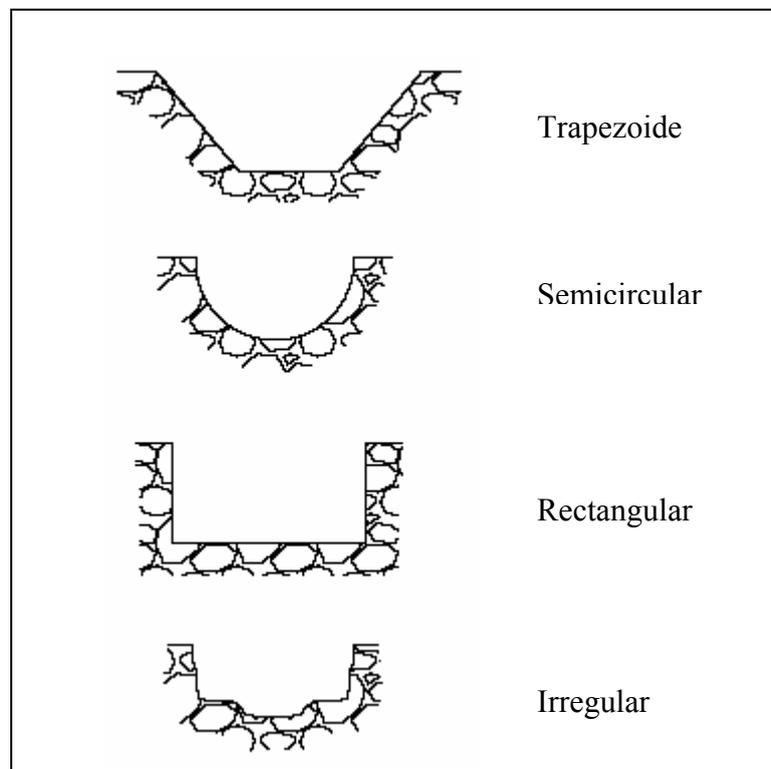


Fig. 3.19. Tipos de secciones de un canal

i. Desarenadores

En épocas lluviosas, los ríos acarrean abundantes materiales sólidos, tanto de fondo como en suspensión, debido a la erosión que provocan en todo su recorrido. Para ello es importante contar con desarenadores o decantadores, particularmente en obras de MCH. Las partículas de diámetro superior a 0.2 mm. ocasionan danos en la turbina por

lo que deberán ser retenidas y eliminadas al momento. Un buen diseño pondrá especial atención en la velocidad del agua dentro del desarenador y en su longitud.

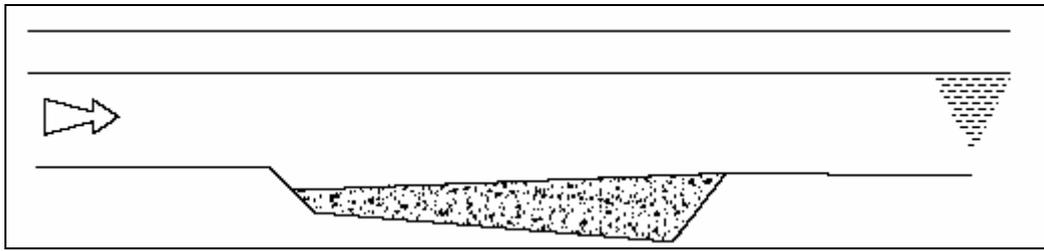


Fig. 3.20. Desarenador

j. Contra solera y colchón de agua

Al elevar las aguas del río para hacer posible su captación, el barrage crea alturas de carga que podrían provocar erosión en el lecho del río al momento de su caída, afectando con ello la estabilidad de toda la estructura de la toma. A fin de prevenir esta actividad erosiva es que se construyen los pozos artificiales. Su propósito fundamental es amortiguar la caída de las aguas sobre el lecho del río, protegiendo de este modo los cimientos de la toma. La finalidad de la contra solera es permitir, junto con el barrage, la formación de un pozo artificial que amortigüe la caída de las aguas.

Criterios de diseño

El diseño de una bocatoma depende de los siguientes parámetros:

- Curso del río (tramo curvo o tramo recto)
- Configuración del terreno (pendiente del cauce, ancho del valle)
- Caudal del río, caudal a derivarse, ángulo de desvío
- Régimen del río, nivel de aguas mínima y máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Acarreo de materiales en suspensión.
- Geología del lugar del emplazamiento, capacidad portante de los suelos
- Geotecnia del lugar del emplazamiento, capacidad portante de los suelos.
- Importancia de la obra, disponibilidad presupuestal.

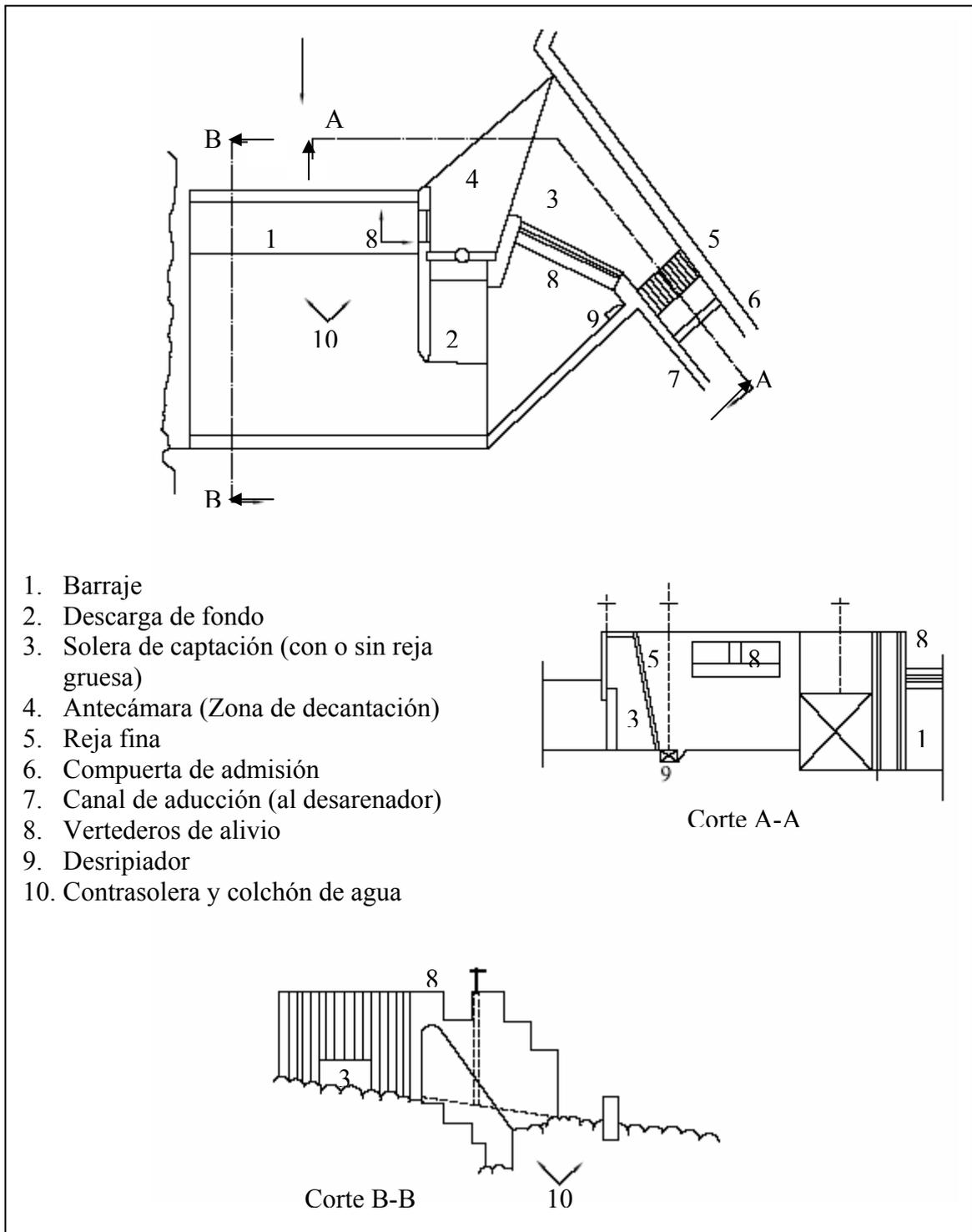


Fig. 3.21. Esquema de bocatoma

3.5.2 Aliviaderos

Un aliviadero es un tiro de vertedor. Se llama vertedor a un dispositivo hidráulico que consiste en una escotadura a través de la cual se hace circular el agua.

Los aliviaderos son estructuras de regulación y de protección que sirven para evacuar caudales de demasías o caudales superiores a los del diseño. Si estas aguas excedentes ingresaran a las diferentes obras que componen el sistema, podrían ocasionar daños de imprevisibles consecuencias.

Su diseño define básicamente tres características: largo/altura (tirante útil mas borde libre) y tipo de cresta que será definida para un coeficiente de descarga.

El aliviadero se combina con las compuertas de control para el desagüe del mismo. En ciertos casos, es necesario detener rápidamente el ingreso de agua al canal, por ejemplo cuando se ha producido una rotura en el canal aguas abajo que ocasiona el colapso progresivo de este así como erosionando sus cimientos. Con frecuencia hay emergencias en épocas de avenida.

Las compuertas de control deben estar situadas por encima del nivel de la avenida y a una distancia del río, a fin de permitir un fácil acceso cuando el río esta crecido. Es conveniente no confiar en un solo mecanismo para cortar el paso de agua al canal, sino que hay que tener otra alternativa.

Podría ocurrir que una de las compuertas no funcione cuando sea necesario, en especial si no ha sido usada con mucha frecuencia. Por lo general, las compuertas se abren mas fácilmente de lo que se cierran, el ancho y los muros del canal de rebose deben bastar para contener todo el caudal.

Es recomendable construir otros aliviaderos a intervalos de 100 m. a lo largo de todo el canal principal, así como tener desagües para conducir el agua de rebose lejos de la base del canal. El costo de incluir estos reboses y desagües es considerablemente menor que el costo de la erosión de la pendiente y los daños que ocurrirían al canal si este llegara a rebalsarse.

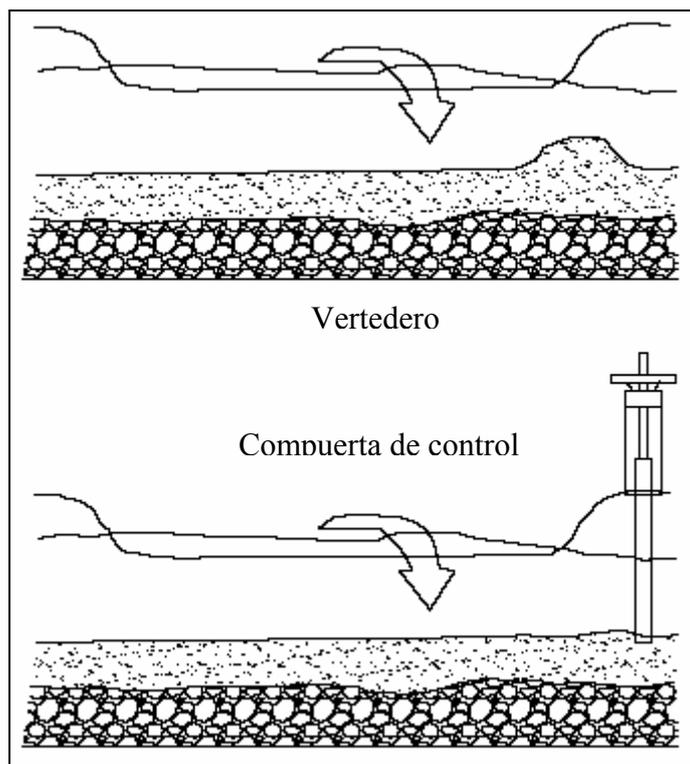


Fig. 3.22. Esquema de un vertedero con y sin compuerta de control

3.5.3. Desarenadores y cámara de carga

a. Desarenador

El agua captada del río y conducida a la turbina transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión compuesta de materiales abrasivos (como arena) que ocasionan el rápido desgaste de los alabes de la turbina. Para eliminar este material se usan los desarenadores.

En ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo de donde podrán ser removidas oportunamente. Es necesario que el sedimento se asiente tanto a la entrada del canal como a la entrada de la tubería o cámara de carga.

Las figuras 3.23 y 3.24 muestran un diseño simple de un desarenador a la entrada del canal y una cámara de carga. Ambos depósitos deben cumplir estos cinco principios importantes:

- Deben tener una longitud y un ancho adecuados. para que los sedimentos se depositen, sin ser demasiado voluminosos o caros.
- Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.

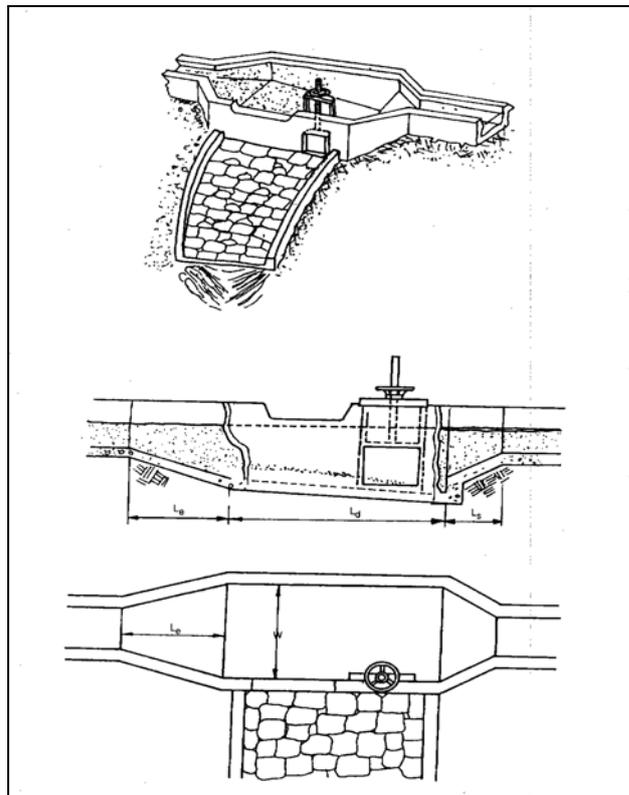


Fig. 3.23. Esquema de un desarenador

- La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y del depósito. Es mejor construir una superficie empedrada similar al canal de desagüe del aliviadero.
- Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.

- Tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos

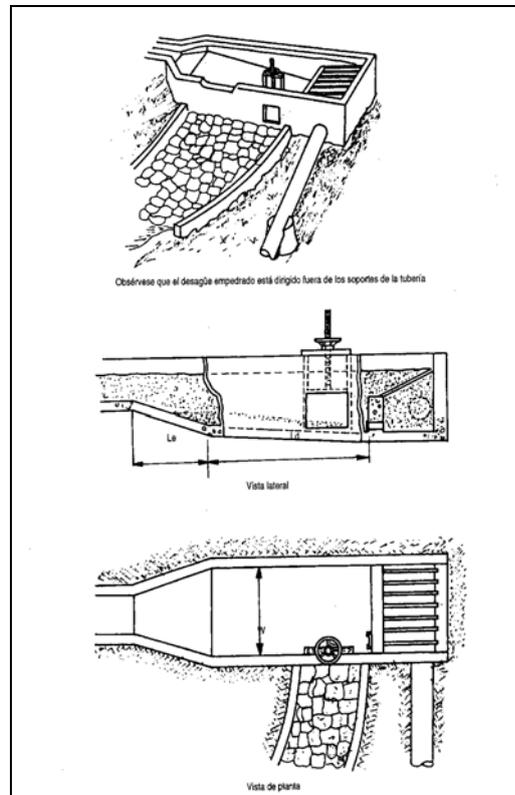


Fig. 3.24. Esquema de una cámara de carga

1. Ancho y longitud del desarenador

La longitud total del desarenador se divide en tres partes: entrada (L_e), decantación (L_d) y salida (L_s). La parte central es el área de decantación. La longitud de decantación (L_d) y el ancho (W) aparecen también en la figura anterior.

La profundidad del desarenador se divide en dos partes: decantación (dd) y de recolección (dr). Es muy importante que el ingeniero proyectista sepa distinguir entre estas dos profundidades, ya que el desarenador funcionará correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda del borde del área de recolección que se encuentra en el límite superior de la zona de recolección (dr).

La velocidad horizontal del agua (V_H) será baja, puesto que la zona de decantación del desarenador tiene una gran sección transversal (A). Para diseñar un

desarenador se elige una velocidad de agua adecuada. Se recomienda un valor de 0.2 m/s., en la mayoría de los casos, pero también pueden adoptarse valores mas altos, hasta de 0,5 m/s. El siguiente paso es escoger un valor de profundidad de decantación (dd).

Se recomienda no seleccionar valores mayores a 1 m para fines de diseño. Otra razón práctica para ello es que el drenaje de la sedimentación del desarenador puede ser difícil de realizar si este es muy profundo. En este punto es posible determinar el ancho del desarenador.

Si el terreno sobre el cual se va a construir el desarenador es muy escarpado, entonces puede ser impracticable construir uno ancho. Los valores de (VH) y de (dd) pueden seleccionarse nuevamente para conseguir un desarenador mas angosto pero mas largo.

La figura 3.25 muestra la trayectoria seguida por las partículas de arena. Inicialmente, al estar el desarenador limpio de depósitos, la velocidad del agua tendrá valores menores que la velocidad calculada. Cuando el tanque recolector esta lleno (figuras b y c), la velocidad del agua será mayor y las partículas viajarán hacia adelante del desarenador. La velocidad con que las partículas caen depende de su tamaño, forma, densidad y del grado de turbulencia del agua.

Cuando el flujo de agua no es turbulento, la velocidad de decantación V_d (vertical) de partículas pequeñas es conocida. En la mayoría de las microcentrales hidráulicas es suficiente eliminar partículas que tengan mas de 0.3 mm. de diámetros, las cuales tienen velocidades de decantación mayores de 0,03 m/s. El desarenador debe ser lo suficientemente largo como para permitir que se decanten las partículas mas livianas cuando la zona de decantación este llena, tal como se muestra en la figura anterior.

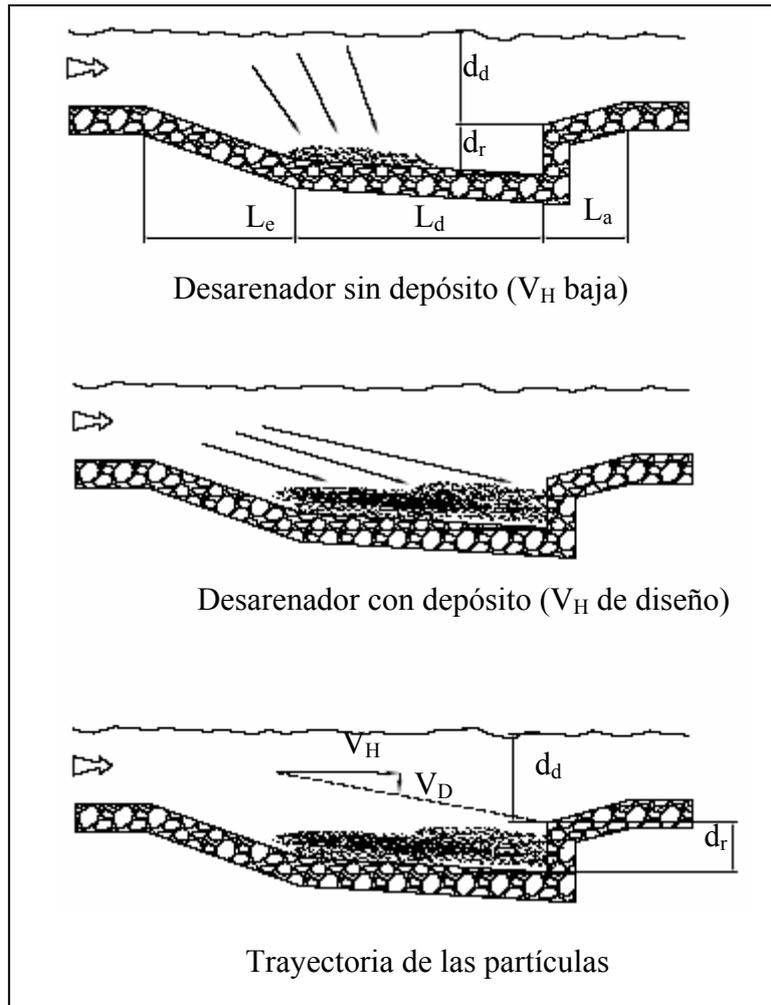


Fig. 3.25. Diseño del desarenador

La longitud de decantación se calcula fácilmente:

$$Ld = \frac{Vh}{Vd} \times dd \times f \quad \text{Ec 3.6}$$

En dónde f : factor de seguridad.

Se recomienda un valor de 2 a 3 como factor de seguridad.

El diseño de la cámara de carga se hace en forma similar sin descontar las perdidas por filtración o el agua utilizada para riego si es que la hubiera, a menos que estas sean significativas

En la práctica, la frecuencia de vaciado dependerá de las observaciones que se hagan del tiempo de llenado del tanque colector.

En teoría, la cámara de carga deberá tener una capacidad de colección menor que el desarenador ya que la carga del sedimento debe ser baja. En la práctica, es muy posible que el agua del canal contenga sedimento a causa de desechos o de fallas en el depósito de la entrada. Por esta razón la cámara de carga debe ser dimensionada del mismo modo que el desarenador y vaciada con la frecuencia que sea necesaria.

2. Tanque colector del desarenador.

El contenido de materia en suspensión en la sección de un río varia de acuerdo a la estación y al tipo de terreno aguas arriba. La variación a lo largo del año puede ser muy grande. La avenida estacional ocasiona altas velocidades y turbulencias que aumentan la carga de sedimentación de manera impresionante. Los desarenadores deben estar diseñados para trabajar durante periodos de gran turbidez. La turbidez se expresa como peso de sedimento transportado por metro cúbico de agua.

Un método simple para medir la turbidez es llenar un balde con agua del torrente unas 20 veces a diferentes profundidades, dejándola reposar hasta que el sedimento se asiente. Luego se separa y pesa la materia sólida registrando después el volumen de agua procesada, Este es un método poco exacto, pero sirve para tener una idea de la turbidez del agua

Conversar al respecto con habitantes del lugar será de gran ayuda, así como tomar muestras de los canales de irrigación. Si otros sistemas hidráulicos funcionan cerca, es importante preguntar a los operadores sobre la frecuencia con que desarenan los depósitos. Así, pues, el trabajo de diseño puede basarse en la observación del diseño y del funcionamiento de instalaciones ya existentes. Así mismo, se deberá hacer pruebas sobre el contenido de sedimento del agua de descarga de las turbinas. Esto se logra fácilmente llenando un frasco graduado con el agua de descarga y esperando que se asiente el contenido del sedimento.

3. Tendencia al desplazamiento y turbulencia

En el diseño de los desarenadores hay que evitar dos cosas: la turbulencia y la tendencia al desplazamiento.

La figura 3.26(a) muestra un diseño incorrecto que posibilita ambas cosas.

Es importante evitar la turbulencia porque agita el sedimento manteniéndolo en suspensión.

La tendencia al desplazamiento de los depósitos es la capacidad que tiene el agua de moverse rápidamente desde la entrada hasta la salida transportando consigo una cantidad de sedimento. La figura 3.26 (b) muestra las secciones de entrada y salida necesarios.

En general resulta difícil construir desarenadores y la tentación es reducir su tamaño mediante la incorporación de deflectores.

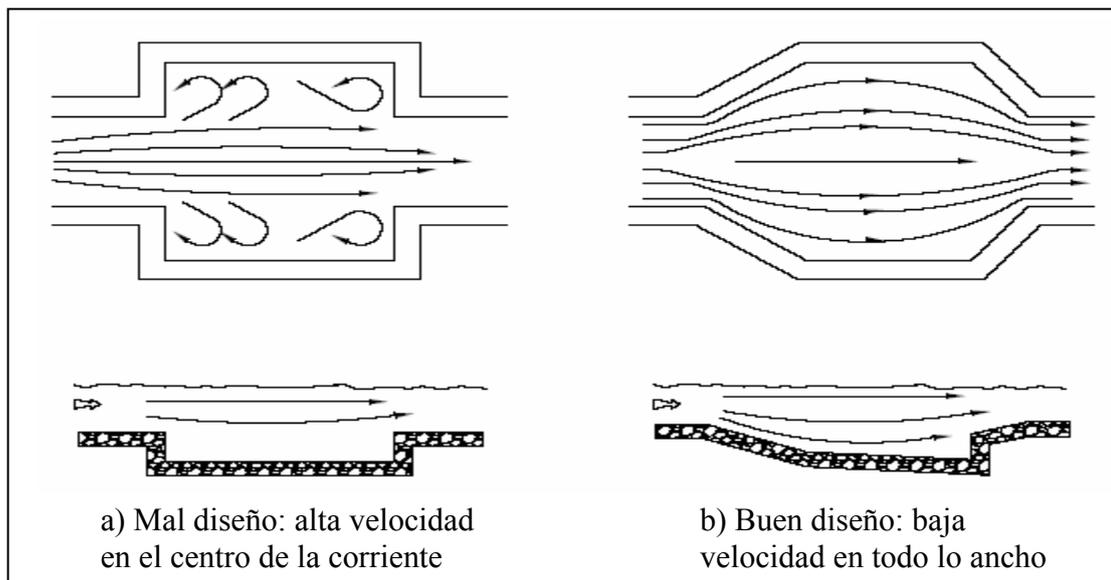


Fig 3.26 Observaciones en el diseño de desarenadores

La figura 3.27(a) muestra un diseño incorrecto de un desarenador con deflectores. Hay que tomar las providencias del caso para evitar que surjan nuevos problemas.

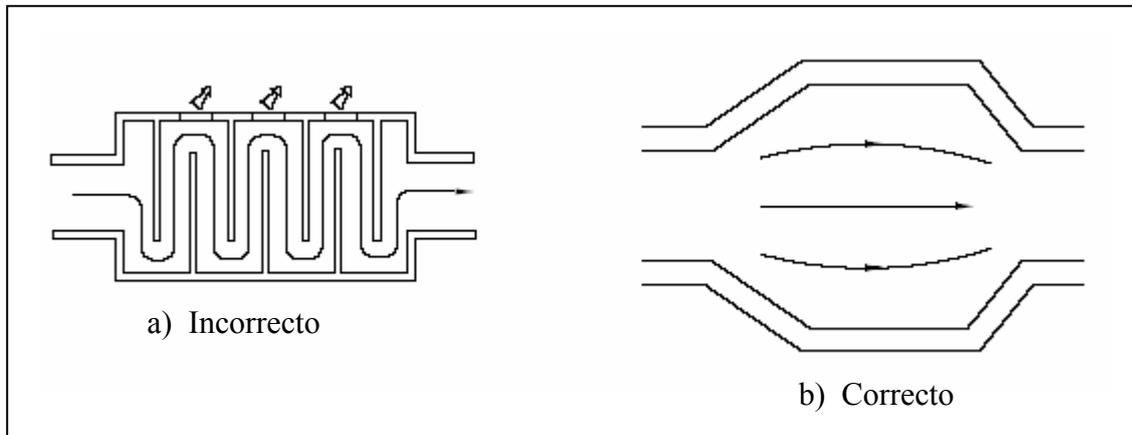


Fig 3.27 Desarenadores con deflectores y con muros directrices

Por ejemplo, si los deflectores son colocados a poca distancia entre sí, el área transversal de flujo será pequeña lo que ocasionará altas velocidades impidiendo que el sedimento se asiente. Las curvas pronunciadas crean turbulencia y por tanto ulterior suspensión de partículas, pudiendo también estimular tendencias al desplazamiento del sedimento. Así mismo, a los tanques con deflectores frecuentemente les resulta difícil desfogar los depósitos de sedimento. No obstante, si son diseñados con cuidado, pueden resultar efectivos y mas compactos que los depósitos normales.

b. Cámara de carga

El diseño de esta cámara sigue exactamente el procedimiento esbozado anteriormente para los desarenadores, excepto para la sección de salida que es reemplazada por la toma de la tubería de presión.

1. Distancia entre las rejillas.

En el caso de una turbina Pelton, el espacio entre las rejillas “S” no debe ser mayor que la mitad del diámetro del inyector. Si se usa una válvula de aguja debe ser un

cuarto de este. Para una turbina Francis, “S” no debe exceder la distancia entre los alabes del rodete.

2. Limpieza de las rejillas

Se puede quitar la rejilla y extraer los residuos (dos rejillas utilizadas juntas aseguran que una este siempre en su lugar), o emplear un rastrillo hecho especialmente para el efecto.

Los dientes del rastrillo deben estar lo suficientemente espaciados para que entren entre las barras y el mango debe ser lo bastante largo para permitir el rastrillaje completo de las rejillas. La mejor forma de colocarlas es en un ángulo entre 60° y 80° de la horizontal, a fin de lograr un buen rastrillaje, pero también para permitir que la gravedad y el movimiento los mantengan limpios.

c. Limpieza de desarenadores y corte del agua

Por lo general la limpieza es un proceso bastante tedioso: se abre la compuerta y el sedimento es removido con pala a lo largo del piso del depósito con el fin de dirigirlo a través de la compuerta. El piso del depósito debe estar ligeramente inclinado para facilitar esta operación

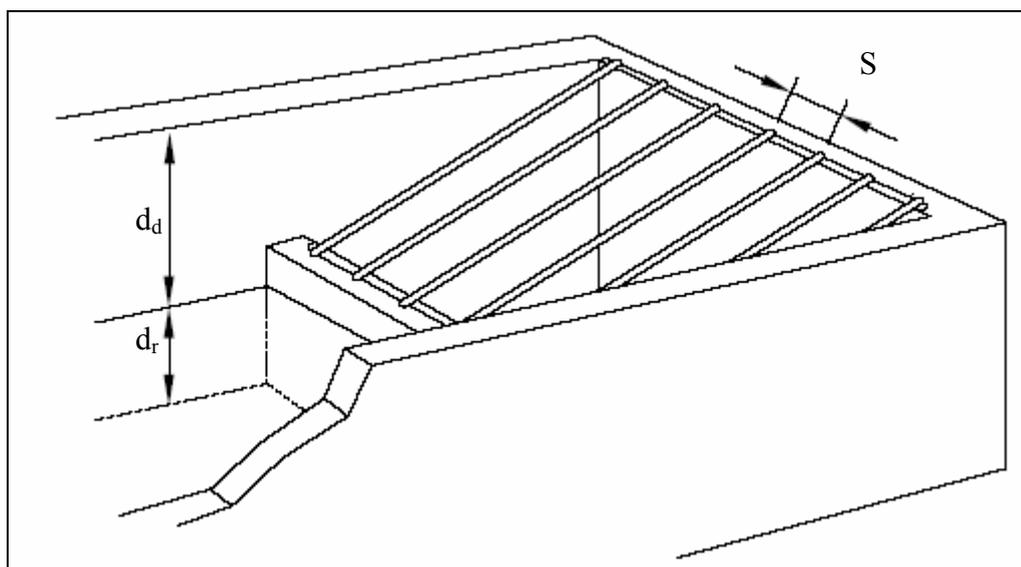


Fig 3.28 Rejilla en la cámara de carga

. Durante la limpieza manual, la compuerta de control de la bocatoma debe estar cerrada a fin de parar la turbina. El vaciado hay que realizarlo en períodos en que no se necesita la energía de la turbina.

Se puede diseñar algunos dispositivos de limpieza semiautomáticos a fin de evitar el excesivo trabajo manual y los cortes de energía. Una posibilidad es el reemplazo de una compuerta de apertura lenta por un tubo de desagüe de limpieza, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Obsérvese en la Fig 3.29 que el tubo también actúa como aliviadero. Para evitar los cortes de energía se puede emplear un canal auxiliar (by pass), que permite el paso de sedimentos (durante el vaciado), que se decantarán en la cámara de Carga aguas abajo o en un segundo deposito ubicado en el canal auxiliar. La primera opción es mas económica y conveniente. El vaciado del desarenador no debe ser tan frecuente y hay que tratar de realizarlo cuando se producen cortes de energía por otras razones.

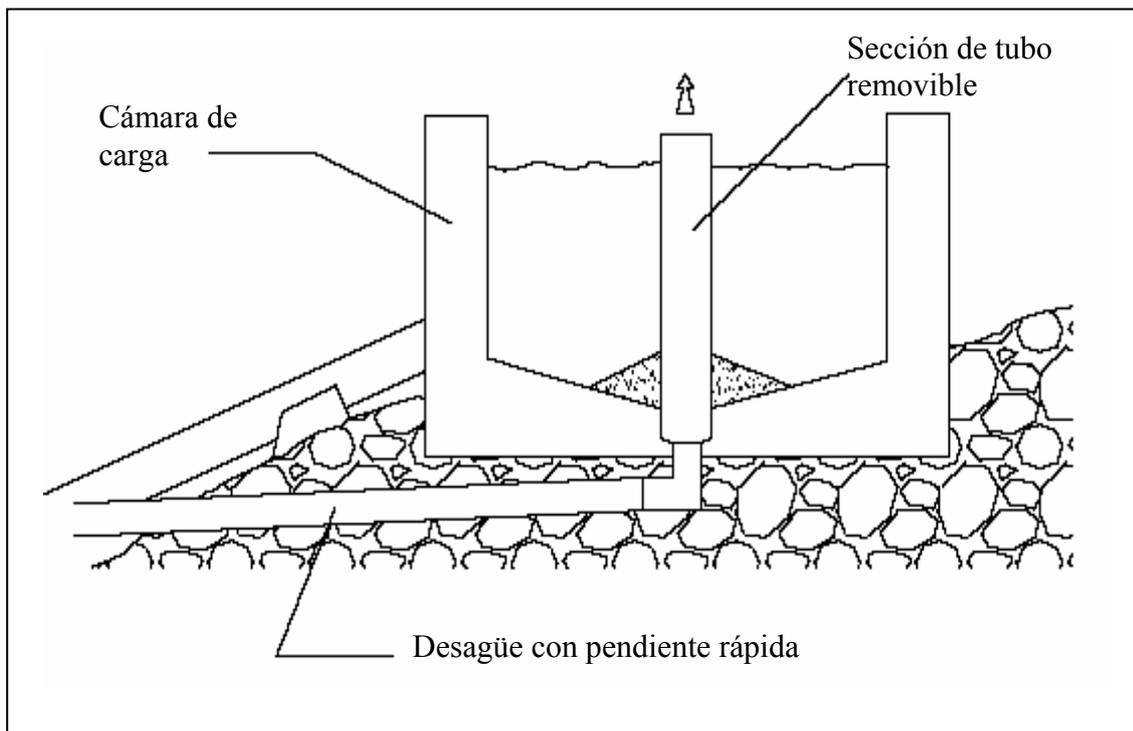


Fig 3.29. Desagüe de limpieza y aliviadero

d. Secciones de ingreso del desarenador.

La longitud de entrada y salida (L_e y L_s) debe ser 2.5 veces el ancho de la zona de decantación si es que se quiere evitar la turbulencia en el agua.

3.6.4. Canales

En una determinada instalación se pueden adecuar diferentes tipos de canales. Estos son:

- Canal de tierra sin revestimiento.
- Canal de tierra con sello o revestimiento. El "sellado" o revestido se refiere a la aplicación de una capa delgada de material que no agrega resistencia estructural; pero sirve para reducir la fricción y la filtración.
- Canal de mampostería o concreto.
- Acueductos: hechos de planchas de acero galvanizado, madera o tubos cortados por la mitad.

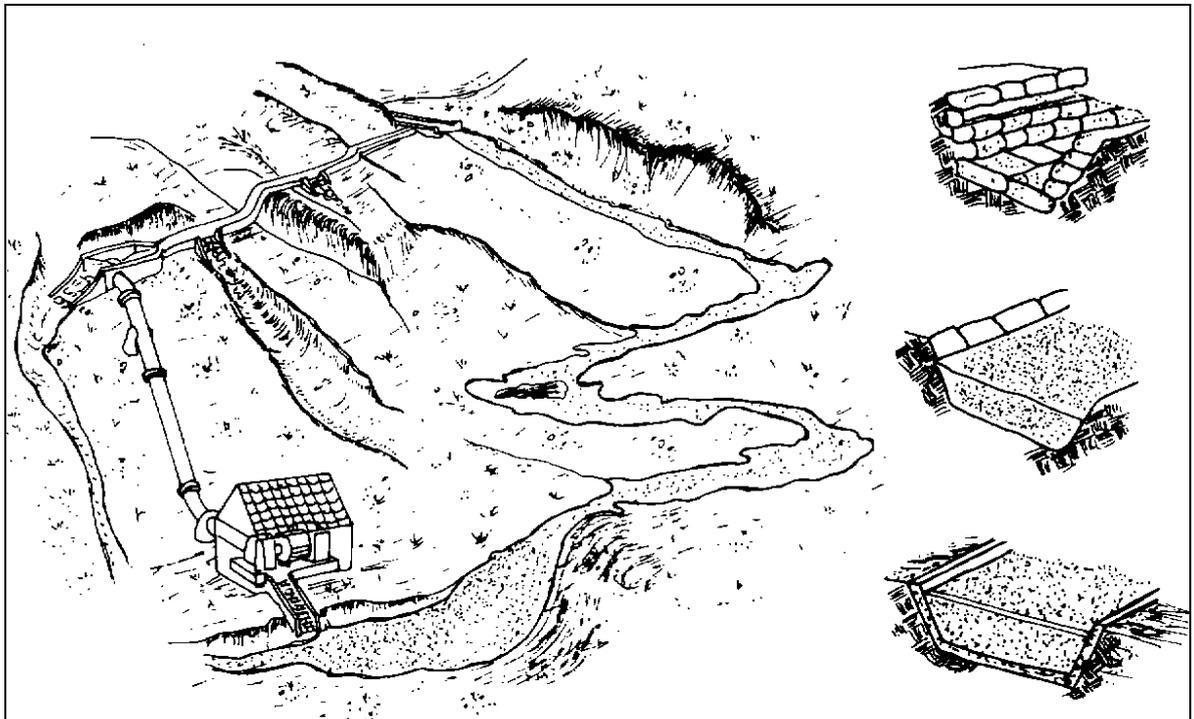


Fig 3.30 Canales de diferentes tipos

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de la ruta. Mas adelante ofrecemos algunas pautas. Una vez que se ha elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, es posible calcular las dimensiones adecuadas así como el desnivel correcto entre el inicio y final de este.

El tipo y el material del canal determinan los tres factores básicos que deciden la pendiente y las dimensiones de este. Veamos:

a. Sección y ángulo del talud del canal

El flujo de agua en un canal hecha de material suelto -como suelo arenoso- hará que las paredes se desmoronen hacia adentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el ancho del canal este en relación a su profundidad. La ventaja de revestir los canales es que resultan mas angostos para el mismo caudal. De allí que no se necesita una gran excavación horizontal en una ladera angosta. Normalmente, se prefiere perfiles trapezoidales porque son muy eficientes hidráulicamente, aunque dependiendo del material, los rectangulares son a veces mas fáciles de construir. La tabla 1 da algunos valares del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales.

b. Velocidad del agua (v)

Un flujo de agua excesivamente rápida erosionara las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y la obstrucción del mismo. El anexo II proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

c. Rugosidad (n)

Cuando el agua pasa par el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Mientras mas rugoso es el material del canal, hay mas perdida por fricción y mayor será la pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal.

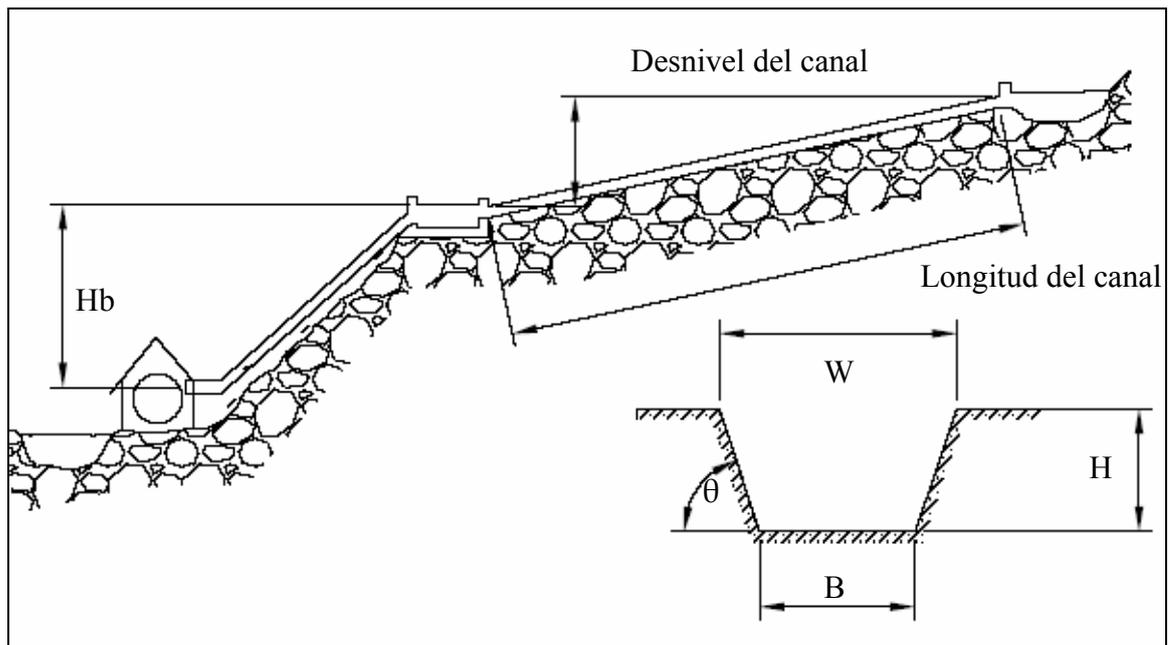


Fig 3.31. Dimensiones del canal y desnivel total

La caída total de un canal es la suma de las caídas de cada una de las secciones. El cálculo se hace en forma iterativa. Se comienza asumiendo una velocidad, luego se repiten los cálculos hasta llegar a un diseño adecuado. El diseño ideal estará basado en los cinco siguientes principios básicos.

- La velocidad del agua debe ser lo bastante alta como para asegurar que los sólidos en suspensión no se asienten en el fondo del canal o ingresen a la tubería de presión.
- La velocidad del agua en el canal debe ser lo bastante baja como para asegurar que no se erosionen sus paredes laterales. Si esto es imposible, sin entrar en conflicto con el primer punto, se deberá considerar el uso de un revestimiento más resistente.
- El desnivel en todo el canal deberá ser reducido (lo que también implica velocidad mínima del agua). En el anexo No II se muestra la tabla que da los valores del coeficiente de rugosidad "n" para distintos materiales. Si se reviste un canal de tierra, la rugosidad del material de revestimiento determinará el grado de pérdida por fricción.
- El canal debe ser duradero y confiable. Así mismo, no solo estar libre de sedimentación sino también protegido de los efectos destructores debidos a escurrimientos causados por las lluvias, rocas que caen en su cauce o derrumbes.

También debe protegerse frente a caudales inusualmente elevados en caso de que la estructura de la bocatoma no lo haga adecuadamente. Los caudales de avenida pueden ser regulados mediante aliviaderos.

- Sus costas de construcción y mantenimiento deben ser mínimos. Es necesario evaluar la disponibilidad de los técnicos de construcción requeridos así como el precio de la mano de obra.

Seguidamente se definen algunos términos que se emplean en el diseño de canales:

d. Borde libre

El borde libre es la distancia vertical que hay entre el nivel normal del agua al extremo superior de las paredes del canal. Su objetivo es evitar que el canal se rebalse cuando ingrese mayor cantidad de agua que la proyectada, ya que ello podría producir daños en la ladera del cerro sobre la que ha sido construido. El borde libre es normalmente un tercio del tirante de agua o 0.15 m, escogiéndose el mayor por seguridad

e. Perímetro mojado (P)

El perímetro mojado es la longitud en que la sección transversal moja el lecho y lacios del canal

$$P = P1 + P2 + P3$$

Ec 3.7

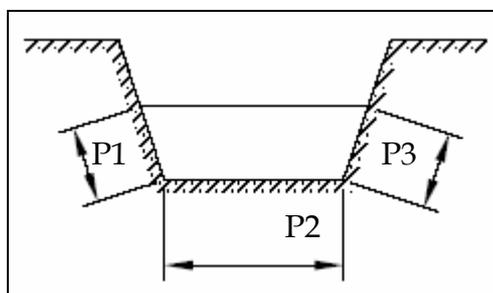


Fig 3.32 Perímetro mojado

f. Radio hidráulico

El radio hidráulico ($R = A/P$) es una cantidad que describe la eficiencia del canal. Si el canal tiene una gran área de sección transversal y un perímetro mojado relativamente pequeño, entonces con un borde libre normal esto implica que es eficiente y que el agua tendrá la velocidad requerida con una pérdida relativamente pequeña. El perfil más eficiente es un semicírculo. La sección trapezoidal es la mejor aproximación práctica a este.

Resumen del método: cálculo de las dimensiones y del desnivel total del canal.

Antes de empezar a calcularlas dimensiones de cualquiera de las secciones del canal, primero hay que determinar su longitud (L) y el material con el que estará hecho o revestido.

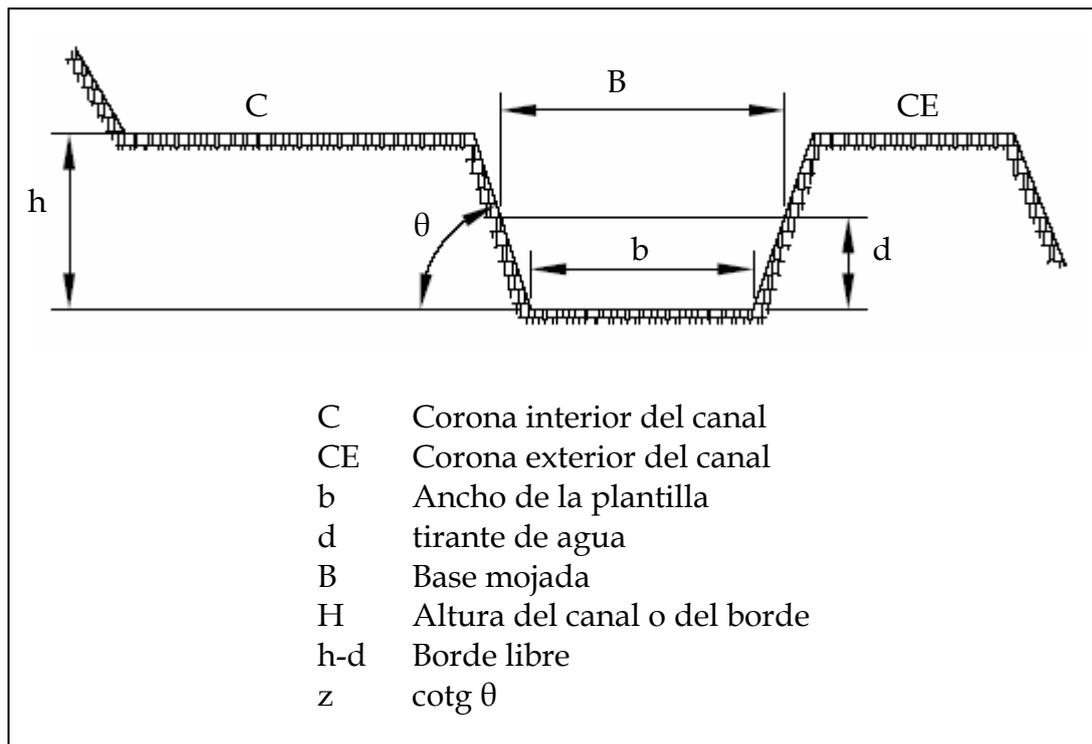


Fig 3.33. Nomenclatura de un canal

f. Pasos para el cálculo

Pasos a seguir para el cálculo

- a) Seleccionar una velocidad adecuada (v). No exceder las velocidades máximas o mínimas recomendadas en la tabla del anexo No II
- b) A partir de la tabla del anexo No II hallar el ángulo del talud del canal. Para canales rectangulares usar $Z=0$, que implica un canal con un ancho que es dos veces su altura. Escoger de la tabla del anexo No II, la rugosidad de las superficies mojadas (n). Seleccionar un nivel de borde libre adecuado. Calcular la sección transversal (A) a partir de la ecuación:

$$A=Q/V \quad \text{Ec 3.8}$$

- c) Calcular la altura (H), el ancho de la plantilla del canal (B), y el ancho de la lámina de agua (W) de la sección mas eficiente del canal.

Cálculo de la sección mas eficiente:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{1+Z^2} - Z}} \quad \text{Ec 3.9}$$

$$B = H \left(2\sqrt{1+Z^2} - 2z \right) \quad \text{Ec 3.10}$$

$$W = B + 2HZ \quad \text{Ec 3.11}$$

$$W = 2H\sqrt{1+Z^2} \quad \text{Ec 3.12}$$

Obsérvese que para canales rectangulares $Z=0$, luego

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad \text{Ec 3.13}$$

$$B = 2H \quad \text{Ec 3.14}$$

$$W = B = 2H \quad \text{Ec 3.15}$$

- d) Utilizando la tabla del anexo No II, calcular el perímetro mojado (P).

Calcular el radio hidráulico (R) a partir de la ecuación:

$$R=A/P \quad \text{Ec 3.16}$$

La pendiente (S) se calcula mediante:

$$S = \left(\frac{nV}{R^{2/3}} \right)^2 \quad \text{Ec 3.17}$$

Ahora es posible construir la sección del canal con la pendiente y las dimensiones requeridas por la sección transversal. Observar primero que el desnivel a lo largo del canal ("L") es la longitud por la pendiente del canal.

$$\text{Desnivel del canal} = L \times S \quad \text{Ec 3.18}$$

- e) Seguir los pasos a, b, c, d, para las otras secciones de canal.
- f) Sumar todos los desniveles del canal para cada una de las secciones a fin de obtener el desnivel total. Si este es demasiado grande o demasiado pequeño, repetir todos los pasos pero con una velocidad diferente.

3.5.5. Tuberías de presión

Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta la turbina. Los principales componentes de una estructura de tubería de presión pueden ser apreciados en la figura siguiente

Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la microcentral, es prioritario, pues, optimizar su diseño para reducir no solo los costos de mantenimiento sino la inversión inicial.

Para que los costos de mantenimiento sean bajos hay que colocar los soportes y los anclajes de la tubería en pendientes estables y encontrar buenos cimientos. No deberá haber peligro de erosión por desprendimientos en las laderas, pero el acceso seguro para hacer los trabajos de mantenimiento y reparación (por ejemplo, repintado).

Al momento de hacer la proyección de los costos de la tubería es fácil subvalorar los gastos de diversas operaciones secundarias como uniones y pintura.

Decidir entre un material para tubería de presión y otro puede implicar grandes diferencias en el costo total si es que se incluyen todos estos factores. Por ejemplo: una tubería de plástico puede ser barata pero las uniones pueden ser caras o de poco fiar.

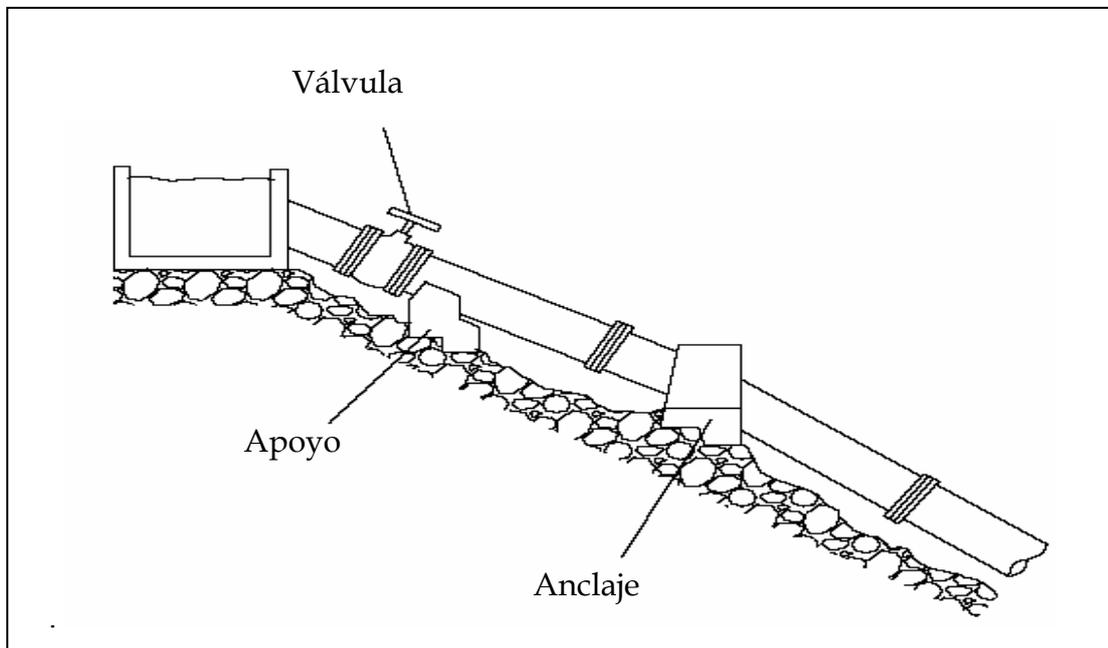


Fig 3.34. Componentes de una tubería de presión

a. Pautas para seleccionar una tubería de presión

1. Considerar las diferentes clases de material disponible, tipos de uniones; comparar formas y costos de mantenimiento. Anotar también los diámetros de tubería y los espesores de pared disponibles.
2. Calcular la pérdida de altura por fricción del 4-10% para una serie de materiales y diámetros. Tabular los resultados.
3. Calcular la probable presión adicional por golpe de ariete en caso de un cierre brusco del paso de agua a la tubería, y sumarla a la presión estática. Calcular espesores de pared adecuados para los tamaños de tubería que se prefieran tabular.
4. Diseñar los soportes, anclajes y uniones para la tubería de presión.
5. Preparar una tabla de opciones calculando el costo total de cada una y ver si los componentes están disponibles en el mercado.

6. La selección del diámetro se hará tratando de obtener el menor costo y las menores pérdidas de energía.

b. Materiales para tuberías de presión

Al decidir el material que se empleara para un proyecto tienen que ser considerados los siguientes factores:

- Presión de diseño
- Tipo de unión
- Diámetro y pérdida por fricción
- Peso y grado de dificultad de la instalación
- Accesibilidad al sitio
- Terreno y tipo de suelo
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación
- Condiciones climáticas
- Disponibilidad
- Costo relativo

Los materiales frecuentemente utilizados en las tuberías de presión son:

- Acero comercial
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad
- Hierro dúctil centrifugado
- Asbesto-cemento
- Resina poliéster con fibra de vidrio reforzado

A continuación nos referiremos brevemente a estos materiales.

1. Acero comercial

El acero comercial ha sido uno de los materiales mas usados para tuberías de presión. Estas tuberías pueden ser fabricadas con maquinaria común en la mayoría de talleres de regular tamaño que trabajen con acero. Se fabrican con planchas de acero

roladas y soldadas. Sus diámetros y espesores son variados. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están protegidas por una capa de pintura u otra capa de protección pueden durar hasta 20 años. Además, en resistencia a impactos son relativamente pesadas, pero en caso de ser necesario pueden ser fabricadas en longitudes adecuadas para su transporte e instalación. Se unen mediante bridas, soldadura o juntas mecánicas. Las tuberías de presión de acero que son enterradas corren el riesgo de corroerse.

2. Policloruro de vinilo (PVC)

La tubería de pvc es una de las más empleadas en las microcentrales hidráulicas. Es relativamente económica, se produce en diámetros que van hasta cerca de 400 mm, y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 m). Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión.

No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de rocas, especialmente a bajas temperaturas. La principal desventaja es que el pvc se deteriora cuando se expone a la luz ultravioleta, la cual raja la superficie afectando seriamente la resistencia de la tubería. Por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación, envolviéndola o pintándola. Las tuberías de pvc tienen uniones tipo espiga y campana, las cuales unen empleando mediante pegamento o también con un anillo flexible de sellado.

3. Hierro dúctil centrifugado

El hierro dúctil ha reemplazado en gran medida al hierro fundido, aunque este último todavía se utiliza en sistemas antiguos. En ocasiones, las tuberías de hierro dúctil están revestidas en su interior con cemento, lo que las dota de protección contra la corrosión y de una baja pérdida por fricción. Es un material pesado, de allí que sea difícil de instalar además de costoso. Estas tuberías por lo general son unidas mecánicamente (casquillo empernado), con espiga campana y un sello flexible, o bien pueden ser embridadas.

4. Asbesto-cemento

Las tuberías hechas de cemento reforzado con fibra de asbesto son frágiles y adecuadas para trabajar a una presión moderada. Su transporte e instalación requiere de cuidado. Son más pesadas que las de PVC y tienen una apreciable pérdida por fricción. El polvo producido al cortar estas tuberías puede ser dañino para la salud; por tal razón quienes trabajan con ellas tienen que usar ropa de protección adecuada además de máscaras.

5. Resina de poliéster con fibra de vidrio reforzado

Las tuberías hechas de resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con bastante cuidado.

Pueden ser utilizadas con presiones elevadas a condición de que estén bajo tierra y se rellene el espacio donde se colocan con material fino seleccionado. Se unen con una espiga campana y un sello flexible. Dependiendo de su disponibilidad y costo relativo, estas tuberías pueden ser una buena alternativa, pero aún no tienen mayor aceptación.

6. Polietileno de alta densidad

Las tuberías fabricadas con este material son una buena alternativa frente a las de pvc. Son particularmente útiles para pequeños sistemas debido a su fácil instalación. Tienen un coeficiente de pérdidas de fricción bajo, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar. Estas tuberías con frecuencia se unen calentando los extremos y fusionándolos a presión utilizando un equipo especial, lo cual es una desventaja.

c. Tipos de uniones

Las tuberías, por lo general vienen en longitudes estándar y deben ser unidas in-situ. Hay muchas maneras de hacerlo. Al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado, hay que considerar los siguientes aspectos:

1. Adecuación al material de tubería seleccionado.
2. Grado de destreza del personal que instala las tuberías.
3. Grado de flexibilidad requerido en las uniones.
4. Costos relativos.
5. Grado de dificultad de la instalación.

Tabla 3.2. Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión

Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión					
Material	Pérdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Hierro dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero comercial	3	3	3	2	5
Polietileno	5	5	5	3	4

Rango: Malo = 1. Regular = 2. Bueno = 3. Muy bueno = 4. Excelente = 5

Los tipos de uniones de tuberías pueden clasificarse en 4 categorías:

- a) Embridadada
- b) Espiga y campana
- c) Mecánica
- d) Soldada

1. Uniones con bridas (embridadada)

Al fabricar las tuberías individuales se colocan bridas en sus extremos y después cada una de las bridas es empernada a la otra durante la instalación. Se necesita poner una empaquetadura de caucho entre cada par de bridas. Las tuberías unidas con bridas son fáciles de instalar, pero estas pueden aumentar el costo de la tubería. Las uniones embridadas con frecuencia se utilizan en tuberías de acero pero también ocasionalmente de hierro dúctil. Las bridas deben fabricarse de acuerdo a normas establecidas

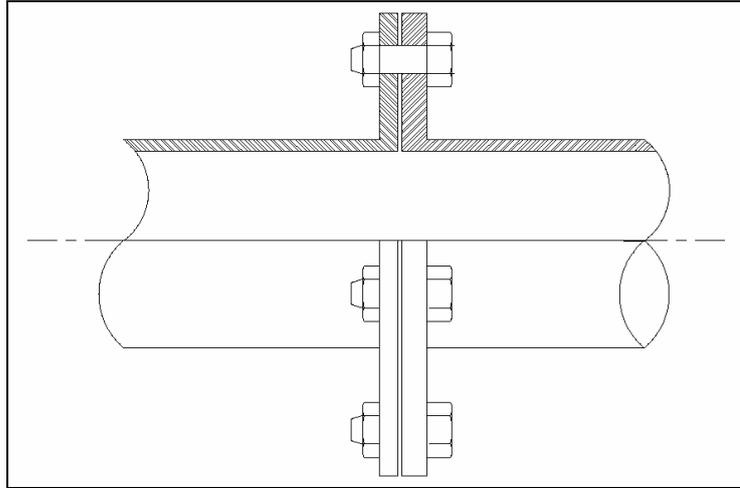


Fig 3.35 Unión con bridas

2. Espiga y campana

Las uniones de espiga y campana vienen preparadas de fábrica, de manera que el diámetro interno de la campana es igual al diámetro externo de la tubería. El extremo de cada tubería puede así ser empujado en la campana de la siguiente. Se necesita sellar cada sección de tubería, lo que se logra empleando un buen sello de caucho o un pegamento especial.

Las uniones con sello de caucho son de dos tipos: sellos de anillo "O" y sellos de labio V simples o múltiples. Estas uniones permiten generalmente unos pocos grados de deflexión.

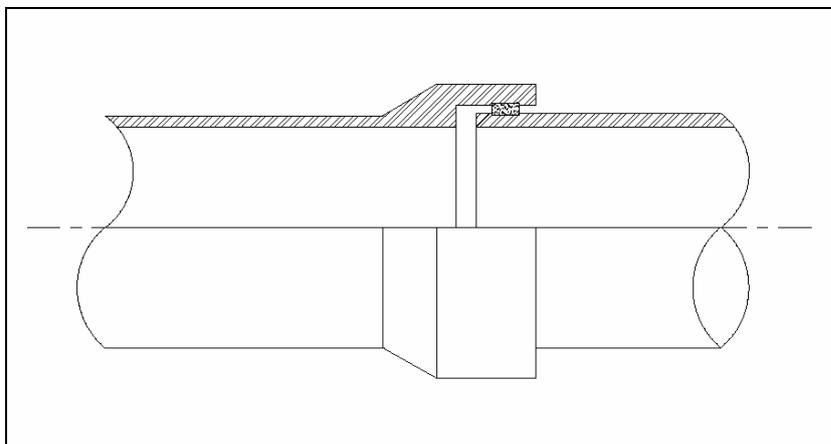


Fig 3.36 Unión espiga campana

Hay que tomar algunas precauciones cuando se realiza este tipo de unión:

- El sello debe estar limpio y seco al realizar la unión. Es mejor no intentar instalar tuberías cuando esté lloviendo.
- Se debe utilizar un lubricante especial. Nunca emplear aceite a base de grasa puesto que pudriría el sello. Si no se consigue el lubricante especial se puede usar jabón.
- Para realizar la unión de tuberías de gran diámetro (mayor de 200 mm) se necesitará usar un templador tipo "ratchet", ya que esta no se podrá hacer sólo con las manos.
- Asegurarse de que la unión esté correctamente alineada antes del acoplamiento final. Las uniones con sello de anillo V son extremadamente difíciles de separar.

Las uniones de espiga y campana soldadas con pegamento se utilizan en tuberías de PVC. Se recomienda consultar con los fabricantes y hacer el pedido especificando el uso que se dará a la tubería.

- Los gases del pegamento disolvente son altamente tóxicos. Evitar una exposición prolongada a ellos y asegurarse de que haya una adecuada ventilación.

3. Uniones mecánicas

Las uniones mecánicas rara vez son usadas en las tuberías de presión debido a su costo. Su principal aplicación es para unir tuberías de diferente material (p. ej. acero y pvc, o cuando se necesita una ligera deflexión en una tubería que no garantiza la colocación de un codo. Algunos tipos de unión mecánica no pueden tolerar fuerzas en la dirección de la tubería y tienen que ser fijados con bloques de anclajes.

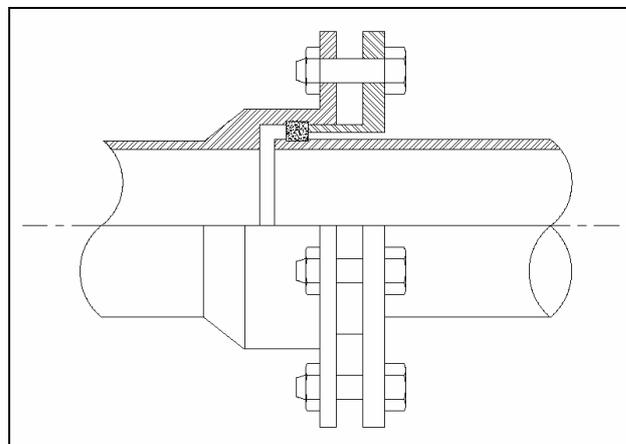


Fig 3.37 Unión Mecánica.

4. Uniones soldadas

Se emplea uniones soldadas en tuberías de acero y apelando a técnicas especiales en el caso de las de polietileno. Se trata de un método relativamente barato, pero tiene la desventaja de que requiere personal especializado, sin contar con los problemas que presenta el llevar un soldador de arco y una fuente de energía (que puede ser un generador) a un terreno remoto y de difícil acceso. Es imprescindible contar con una persona competente para realizar la soldadura a fin de asegurar una buena unión. Con este tipo de unión se pueden aceptar pequeñas desalineaciones.

La soldadura de una tubería de polietileno requiere también de alguna capacitación. El hecho de tener que comprar equipo especial resulta algo costoso, aunque a menudo es posible alquilárselo al fabricante de tuberías.

Los dos extremos de la tubería que serán unidos son fijados en una plantilla especial, colocando luego moldes calientes en ambos extremos. La temperatura del molde y el tiempo en que se aplica son decisivos para lograr una buena unión. Cuando el material al extremo de la tubería está en estado semilíquido, se juntan con fuerza los dos extremos lo que hace que ambos se "fusionen". El proceso se llama "soldadura por fusión", y con un poco de práctica puede hacerse muy rápidamente.

d. Juntas de expansión

En las tuberías de presión de acero tiene que haber juntas de expansión o dilatación. Generalmente existe una inmediatamente debajo de la cámara de carga o del anclaje superior. La dilatación de la tubería debe ser calculada como sigue:

$$E = \alpha \times \Delta T \times L \quad \text{Ec 3.19}$$

En donde;

E: dilatación en metros. α : coeficiente de dilatación del acero ($1.5 \times 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$).

ΔT : cambio de temperatura experimentada por la tubería ($^\circ\text{C}$). **L:** Longitud de la tubería (m).

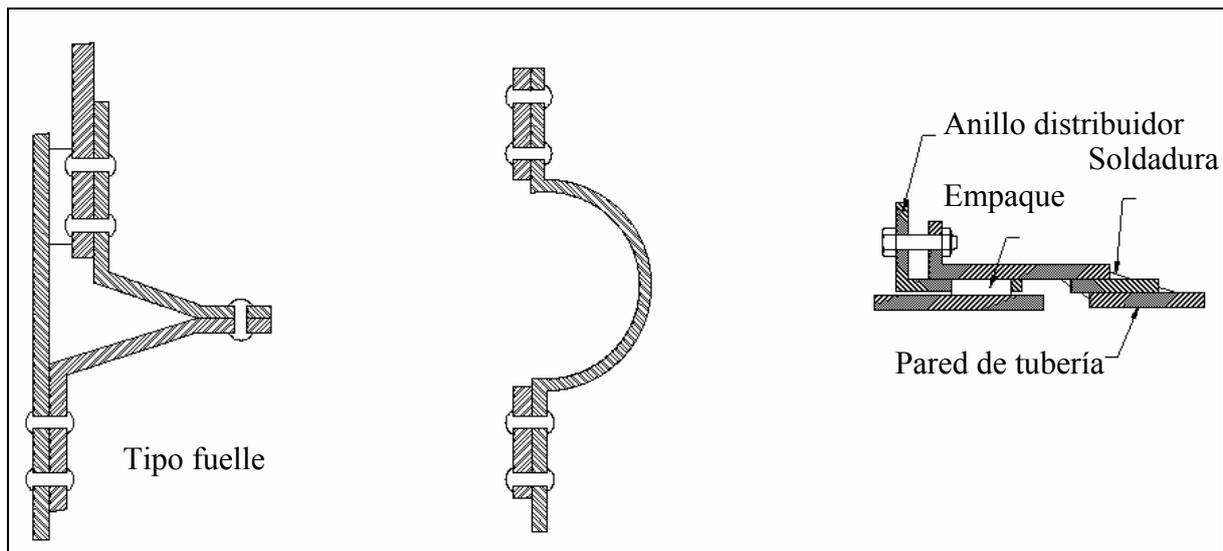


Fig 3.38 Juntas de dilatación

e. Válvulas para tuberías de presión

Las válvulas controlan el paso de agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos. Para el caso de las microcentrales hidráulicas nos limitaremos tan sólo a las válvulas de compuerta y de mariposa. De éstas dos, las de compuerta son las más usadas.

Por lo general, las válvulas están instaladas inmediatamente antes de la turbina pero en ciertos casos se encuentran a la entrada de la tubería de presión.

1. Válvula de compuerta

Una válvula de compuerta consiste básicamente de un disco metálico que sube y baja a voluntad y que está ubicado en el cuerpo de la válvula. A presiones elevadas o con válvulas de gran diámetro se precisa de una fuerza importante para operadas y vencer las fuerzas de fricción en la válvula. Por esta razón, cuando se coloca una válvula de compuerta grande en la parte inferior de la tubería de presión se coloca también una pequeña válvula de by pass para conectar el lado de alta presión con el de baja presión. Si el lado de baja presión no está abierto a la atmósfera, habrá un aumento de presión que eventualmente igualará a la presión a ambos lados de la válvula, facilitando su apertura

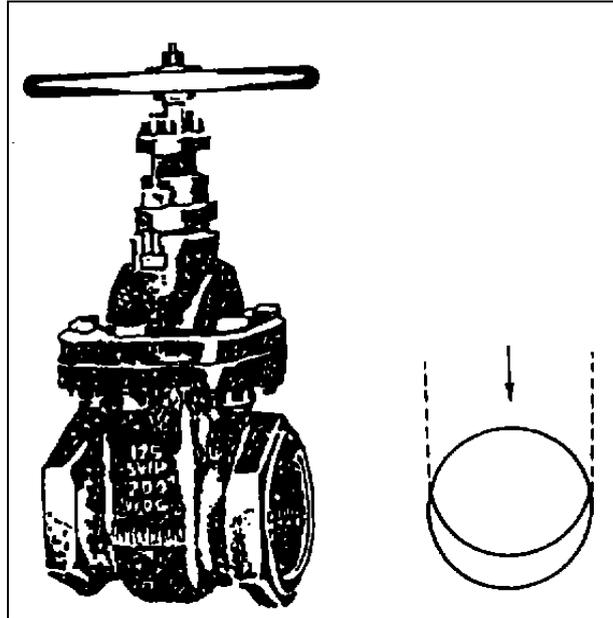


Fig. 3.39. Válvula de compuerta

f. Selección del diámetro de la tubería de presión

A continuación se ofrece un método para seleccionar una tubería con un espesor de pared y diámetro adecuados.

Este proceso de optimización puede ser completado rápidamente mientras se considera la factibilidad de un sistema obteniendo información de un mapa si es que éste existe.

También se utiliza para la selección final de la tubería, en cuyo caso es una buena práctica trazar el perfil de la ruta de la tubería sobre la base de una cuidadosa inspección del sitio. Debe tomarse nota detallada de estructuras rocosas y del tipo de suelo, de los obstáculos, cambios de dirección horizontal y del gradiente.

Estas observaciones permitirán que codos, anclajes y soportes sean incluidos en el análisis de costos y en el cálculo de pérdidas en la tubería.

Ver en el anexo III los factores de pérdida asociados con codos y otras fuentes de turbulencia en el caudal de agua.

1. Cálculo de las pérdidas por fricción y diámetro de tubería de presión

- a) Establecer la caída bruta y el valor del caudal de diseño de turbina.
- b) Seleccionar un material, tomar un diámetro tentativo d , determinar un diámetro interno consultando los catálogos de fabricantes.
- c) Medir o calcular la longitud de la tubería. En caso de no poder hacer las mediciones directamente, esta se puede determinar a través de mapas y relaciones trigonométricas.
- d) Elegir un valor para la rugosidad utilizando la tabla del anexo No III. Calcular K/d y luego calcular $1.27Q/d$, empleando unidades ISO. Leer en el diagrama de Moody el valor del factor de fricción (f) como se explica en el anexo No IV.
- e) Calcular la pérdida de carga debida a la fricción de la pared en la tubería (h_f).

$$h_f = 0.08 \frac{f \times L \times Q^2}{d^5} \quad \text{Ec 3.20}$$

- f) Calcular la velocidad del agua en la tubería (v).

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad \text{Ec 3.21}$$

- g) Con los coeficientes del diagrama de Moody, calcular las pérdidas por turbulencia (h_t) en las secciones de entrada, codos, válvulas y otros accesorios.

$$h_t = \frac{V^2}{2g} (K_1 + K_2 + \dots + K_n) \quad \text{Ec 3.22}$$

- h) En donde K es un factor asociado a codos, válvulas, cambios de dirección, y g es la constante de aceleración de la gravedad. Por lo general, las pérdidas por turbulencia son menores comparadas con el efecto de la fricción de pared. Si se hace un rápido cálculo inicial del tamaño y se cree que los efectos de la turbulencia son menores, obviar el paso g.

- i) La pérdida de carga total será la suma de pérdidas por fricción más las pérdidas por turbulencia.

$$h_p = h_f + h_t \quad \text{Ec 3.23}$$

- j) Calcular la pérdida porcentual de caída debida a la fricción:

$$\text{pérdidas}\% = \frac{h_p \times 100}{h_B} \quad \text{Ec 3.24}$$

- k) Si ésta no está entre el 3 y el 11%, seleccionar un diámetro de tubería más adecuado y repetir los pasos a al g. Si está entre el 3 y el 11%, incluir detalles en una tabla. Luego seleccionar un tamaño y/o material de tubería diferente, y repetir los pasos del a al h.
- l) Si se piensa en una tubería de PVC, comparar los resultados de este proceso de selección con las indicaciones dadas en la carta de pérdida de fricción del fabricante.

2. Cálculo del espesor de pared de tuberías de presión

Al calcular el espesor requerido de pared es necesario tener en cuenta dos cosas:

- a) Las presiones más altas que se espera que resista la tubería.
- b) Los efectos corrosivos que tienden a adelgazar sus paredes con el transcurso del tiempo, la rigidez para darle resistencia, las limitaciones de la soldadura allí donde sean relevantes y los cambios de espesor u ondulación ocurridos durante su fabricación.

En cuanto al punto (a), las presiones altas se dan por corto tiempo en determinadas situaciones, como por ejemplo al cerrar la válvula. Como son temporales, se conocen con el nombre de presiones transitorias. Tal como se explicó antes, las presiones pueden ser expresadas como altura de agua. La presión transitoria se sumará a la presión normal de funcionamiento (altura bruta).

$$H_t = h_B + \Delta h_{trans} \quad \text{Ec 3.25}$$

El método recomendado para calcular h se da como parte del cálculo completo

del espesor de la pared de la tubería. En vista de que el método está simplificado, no es lo suficientemente exacto en todos los casos de diseño de tuberías.

3. Secuencia del cálculo

- a) Establecer la velocidad del flujo en la tubería y hacer una tabla con diferentes posibilidades de tubería de presión. Incluir en la tabla el valor del espesor de pared para cada opción.
- b) La presión transitoria puede expresarse como caída de agua (Δh)

$$\Delta h = \frac{a \times \Delta V}{g} \quad \text{Ec 3.26}$$

Donde: g es 9.8 m/s^2 ; v es la velocidad de agua; y a es la velocidad de propagación de la onda de presión que depende del material, del diámetro y del espesor de la pared de la tubería. Una aproximación simple se haría empleando los siguientes valores:

Tubería de acero blando $a = 900 \text{ m/s}$; Tubería de hierro fundido $a = 1250 \text{ m/s}$;
Tubería PVC $a = 350 \text{ m/s}$

En algunos casos el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete puede dar valores excesivamente altos. Si se piensa emplear una turbina Pelton multichorros, no es probable que haya altas presiones transitorias. En ese caso sería recomendable aproximada.

- c) Calcular la caída total en la tubería cuando ocurren golpes de ariete:

$$h_t = \Delta h + h_p \quad \text{Ec 3.27}$$

- d) Elegir los factores de corrección pertinentes:

Factor por tipo de junta: Soldadura $K_j = 1.1$

Plancha rolada y soldada $K_j = 1.2$

Factor por corrosión: $K_c = 1 \text{ mm}$ (10 años de vida) $K_c = 2 \text{ mm}$ (20 años de vida)

Obsérvese que en una primera aproximación la tubería de PVC tiene un factor de multiplicación igual a 1.

- e) Calcular en milímetros el espesor teórico de pared (T) considerando los factores de espesor y la presión total.

$$T = \frac{5 \times fs \times ht \times 10^6 \times d \times kj}{S} + Kc \quad \text{Ec 3.28}$$

Donde fs es un factor de seguridad, S representa el esfuerzo de rotura del material de la tubería en unidades de N/m² o Pascales (ver tabla del anexo No III) y d, h total están en metros.

- f) Seleccionar el espesor de pared más delgado disponible y que exceda el espesor de pared calculado e incluido en la tabla de distintas opciones de tubería de presión. Si ello no es posible, hacer un cálculo más completo de la velocidad de onda "a" basada en el diámetro, o seleccionar un diámetro de tubería que resultará en una "caída transitoria" y un espesor de pared menores.
- g) Si se piensa emplear una tubería de PVC, comparar los resultados de este cálculo con el espesor de pared y la recomendación del nivel de presión hecha por el fabricante.
- h) Repetir los pasos b al f para diferentes materiales de tuberías de presión.

g. Apoyos y anclajes para tuberías de presión

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la misma función básica: dar el peso necesario para contrarrestar las fuerzas de los fluidos que podrían hacer que la tubería se mueva y corra el peligro de romperse.

El soporte de tubería sostiene el peso de esta y del agua que contiene. Los anclajes sirven para mantener en tierra a la tubería, así como para fijarla y evitar los movimientos laterales. El bloque de empuje se usa en codos de tuberías enterradas a fin de transmitir las fuerzas a la tierra circundante.

Los apoyos o soportes deben construirse de manera tal que permitan el movimiento longitudinal de la tubería al contraerse o dilatarse debido a cambios de temperatura.

Los soportes tienen que ser construidos sobre suelo firme y no en un relleno. La superficie de contacto del apoyo con el suelo de cimentación debe estar calculada para soportar el peso sin exceder el límite de capacidad de resistencia del suelo. Además es necesario hacer canaletas de drenaje a lo largo de la tubería para evitar la erosión de los cimientos de los soportes (ver figura 3.40).

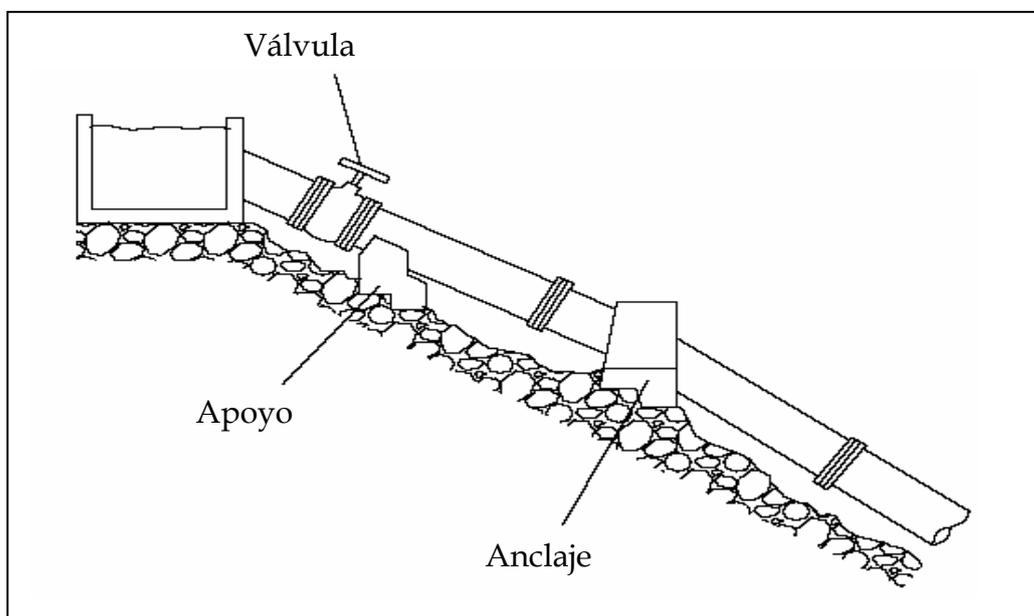


Fig 3.40 Apoyos y anclajes para tuberías de presión

1. Espaciamiento de soportes

Hay que calcular el máximo de espaciamiento entre los soportes de una tubería a fin de que ésta no se fracture o flexione excesivamente.

La tabla 3.15 da una serie de pautas para el espaciamiento de pilares basándose en la experiencia y en las recomendaciones de los fabricantes de tuberías. Por lo general y si se tienen dudas, usar un soporte por cada pieza de tubería.

Tabla 3.3. Espaciamiento entre apoyos para tuberías de acero comercial

Espesor	Diámetro (mm)				
	100	200	300	400	500
2mm	2	2	2.5	3	3
4mm	3	3	3	4	4
6mm	4	4.5	5	6	6

Nota: Para tuberías de pvc seguir las instrucciones del fabricante (casi siempre un apoyo por unidad).

2. Cálculo de apoyos

a. Fuerzas que intervienen en los apoyos (Figura)

W: Peso del tubo más peso del agua (por unidad de longitud)

Esta a su vez tiene dos componentes

W_x: Fuerza longitudinal paralela al tubo

W_y: Fuerza perpendicular al tubo

F₂: Fuerza de fricción entre tubo y apoyos.

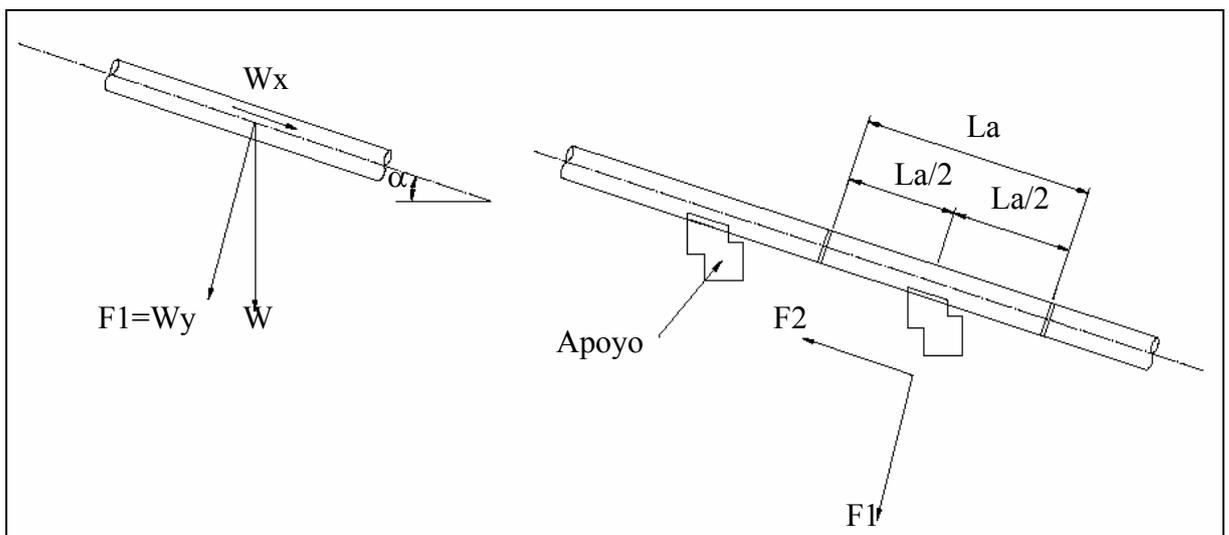


Fig 3.41 Fuerzas que intervienen en los apoyos

b. Fuerzas que intervienen para el cálculo

F1 es Wy es el componente del peso del tubo con agua por unidad de longitud perpendicular al tubo

F2: Fuerza de fricción entre apoyos y el tubo

La componente Wx no actúa para el apoyo, sino para el cálculo del anclaje.

c. Cálculo de la componente del peso del tubo y la fuerza de fricción entre los apoyos y el tubo.

$$F1 = W \times La \times \cos \alpha \quad \text{Ec 3.29}$$

Pero

$$W = Wt + Wa \quad \text{Ec 3.30}$$

Reemplazando en F1

$$F1 = (Wt + Wa) \times La \times \cos \alpha \quad \text{Ec 3.31}$$

$$F2 = \mu \times F1 \quad \text{Ec 3.32}$$

Donde:

W_t: Peso del tubo por unidad de longitud (N/m) o (kg.f/m). **W_a**: Peso del agua en el tubo por unidad de longitud (N/m) o (kg.f/m). **μ**: Coeficiente de fricción entre el tubo y el concreto. Para acero y concreto de 0,5 a 0,6. **L_a**: Distancia entre los puntos medios de 2 tramos consecutivos (m). **α**: Angulo de inclinación de la tubería.

Operando en las fórmulas, haciendo intervenir el concepto de peso, en función del peso específico, volumen y características geométricas del tubo y del agua tenemos:

$$Wt = \gamma \times V \quad \text{Ec 3.33}$$

$$Wt = \gamma \times \frac{\pi}{4} (De^2 - D^2) \quad \text{Ec 3.34}$$

$$W_a = \gamma_a \times \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ec 3.35}$$

Donde:

γ_t : Peso específico del material de la tubería (N/m^3). γ_a : Peso específico del agua (N/m^3). D_e : Diámetro externo del tubo (m). D : Diámetro interno del tubo (m).

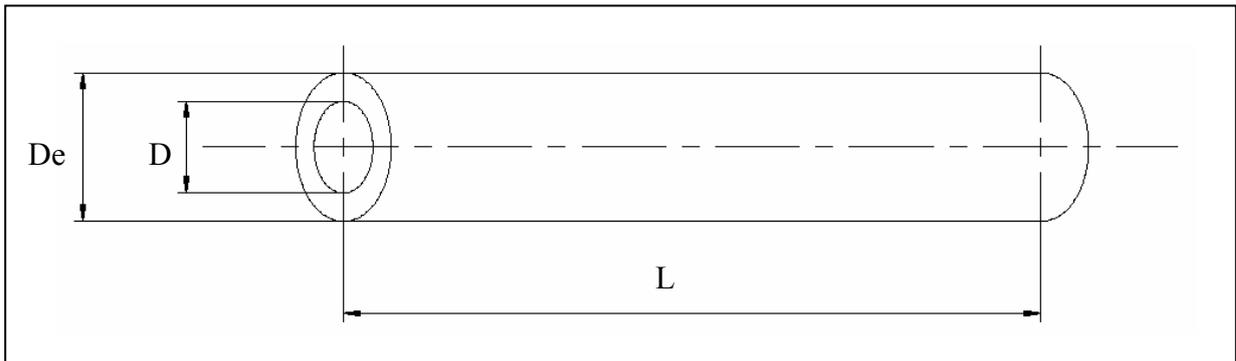


Fig 3.42 Características geométricas del tubo

La longitud L_a no debe causar deflexiones excesivas, ni esfuerzos de flexión mayores a los admisibles en la tubería.

Generalmente, se aconseja que:

$$L_a \leq 8 \text{ m}$$

La flecha máxima Δ se calcula mediante:

$$\Delta = \frac{5}{384} \times W \times \frac{L_a^4}{E \times I} \quad \text{Ec 3.36}$$

Y el momento flector máximo es (como viga simplemente apoyada):

$$M = W \times \frac{L_a^2}{8} \quad \text{Ec 3.37}$$

Donde:

$$W = W_t + W_a \quad \text{Ec 3.30}$$

E: Módulo de elasticidad del material de la tubería. **I:** Momento de inercia de la sección.

Para el caso de viga se conoce que:

$$\Delta_{adm} = \frac{1}{360} \times L_a \quad \text{Ec 3.38}$$

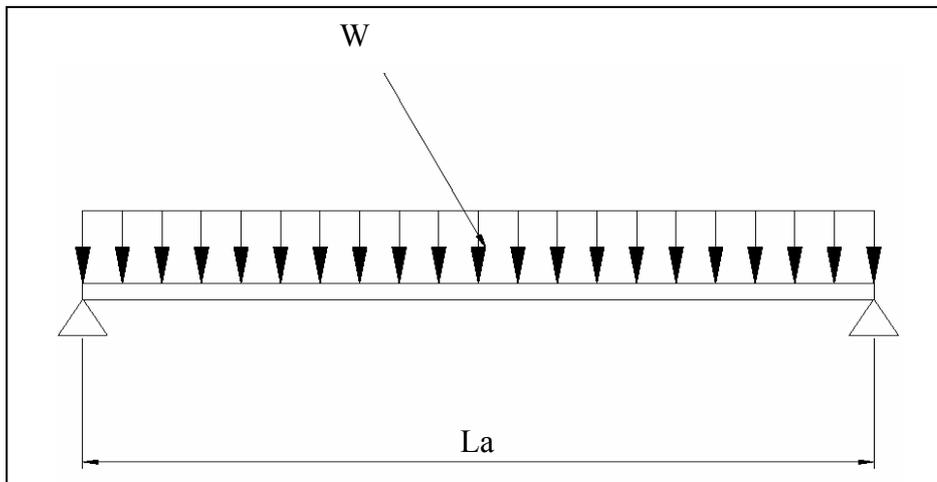


Fig 3.43 Diagrama de carga de la sección del tubo simplemente apoyada

d. Cálculo de las fuerzas

Se presentan dos casos:

- Cuando la tubería se está dilatando
- Cuando la tubería se está contrayendo.

Para el primer caso:

Observamos que F2 es hacia arriba.

$W =$ Peso del apoyo

$$W_p = V \times \gamma_c \quad \text{Ec 3.39}$$

Donde:

V : Volumen del concreto del apoyo (m^3). γ_c : Peso específico del concreto ($2300 \text{ kg}/m^3$). R_x : Reacción horizontal del suelo contra el apoyo (N). R_y : Reacción vertical del suelo contra el apoyo. X : Distancia de R_x al punto O

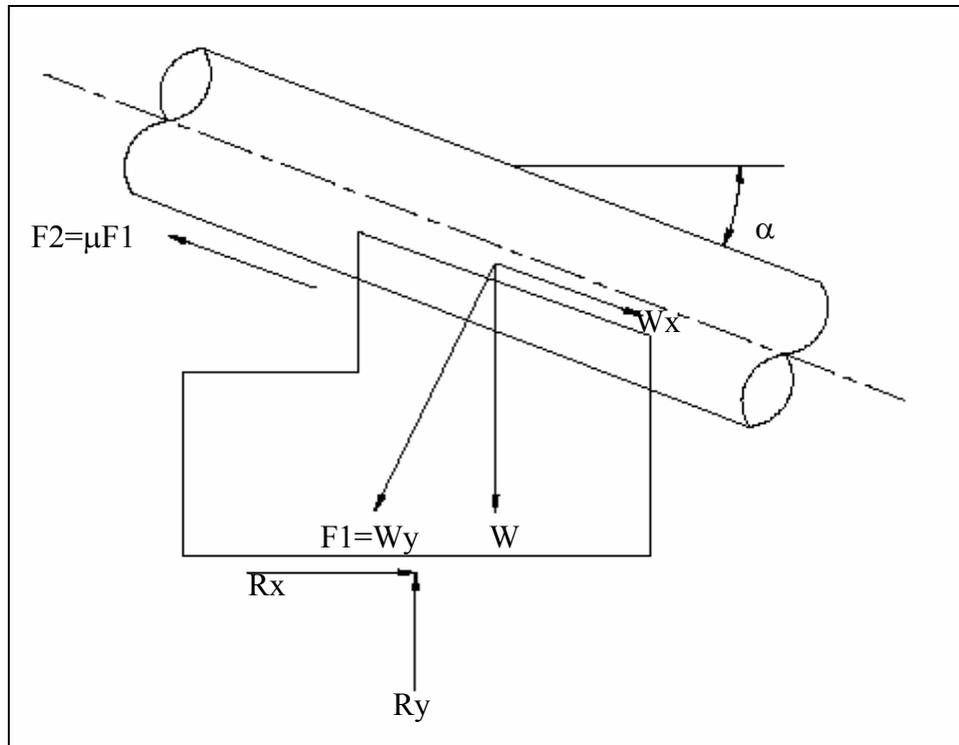


Fig 3.44 Fuerza de dilatación de la tubería que actúa sobre el apoyo

Para asegurar la estabilidad del apoyo debe cumplir tres condiciones:

1. Sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_x < \mu_t \times \sum F_y \quad \text{Ec 3.40}$$

Donde:

μ_t : Coeficiente de fricción entre el apoyo de concreto y el terreno. $\sum F_x$: Sumatoria de las fuerzas en el eje x. $\sum F_y$: Sumatoria de las fuerzas en el eje y.

2. Esfuerzos.

$$S_{base} \leq S_{adm} \quad \text{Ec 3.41}$$

Donde:

S_{base} : esfuerzo de compresión del terreno. S_{adm} : esfuerzo de compresión admisible del terreno.

$$S_{base} = \frac{R_y}{A \times \left(1 \pm 6 \times \frac{e}{b} \right)} \quad \text{Ec 3.42}$$

Donde:

R_y : Reacción vertical del suelo contra el apoyo. b : Largo de la base del apoyo. A : área de la base del apoyo. e : excentricidad de la reacción vertical. El doble signo significa que existe un esfuerzo máximo u un mínimo.

$$e = x - \frac{b}{2} \quad \text{Ec 3.43}$$

3. El S_{base} mínimo debe ser positivo; en caso contrario significará que se produce el volteo del apoyo.

3. Cálculo de anclajes

Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno. Por lo tanto, deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos.

Generalmente, estos se ubican en aquellos lugares donde hay cambios de dirección o de pendiente, o donde existen cambios de sección.

Al diseñar los anclajes, es necesario tener en cuenta los cambios de pendiente. Dependiendo de la idea de pendiente que se trate, hay dos tipos de anclajes: hacia afuera y hacia adentro.

Los anclajes hacia adentro influyen favorablemente en su estabilidad, ya que los esfuerzos debidos a la desviación del movimiento del agua actúan contra el terreno. En

cambio, en los anclajes hacia afuera, estos esfuerzos actúan en el otro sentido: en dirección al aire o espacio.

Para estos últimos, es importante conocer bien la magnitud de los ángulos y el tipo de suelo donde se ubican. En ocasiones habrá que acoplar a la tubería otros elementos de fijación (armaduras, anillos) que garanticen que el concreto no se desprenda por encima del tubo.

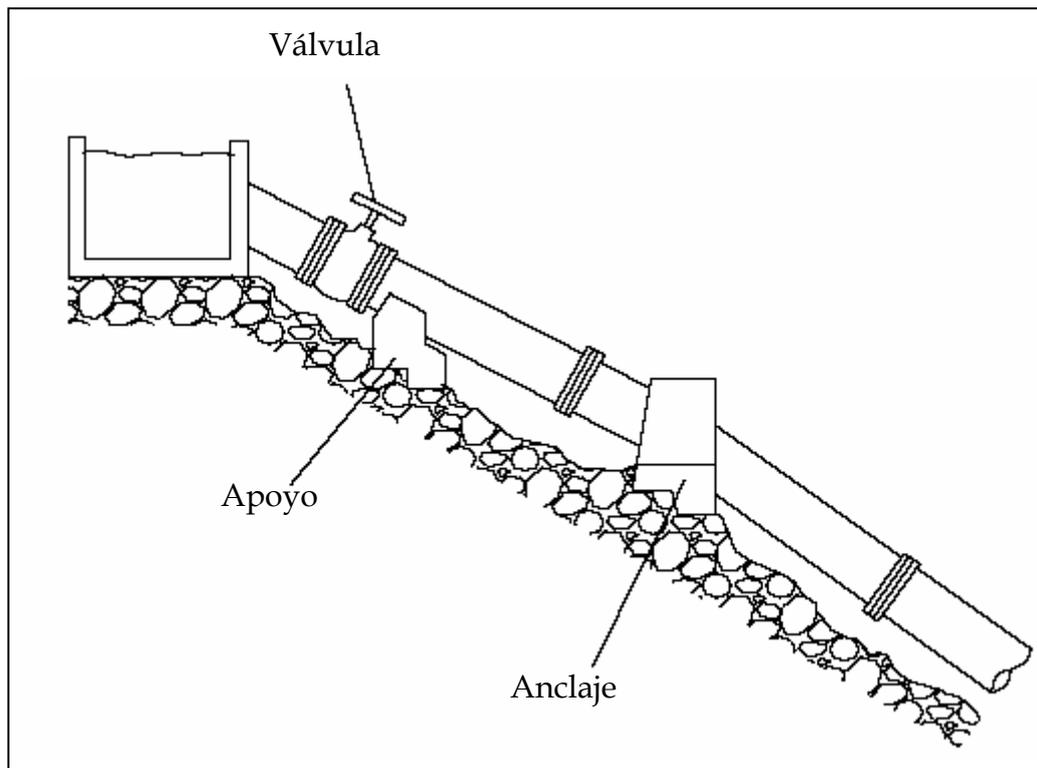


Fig 3.45 Tubería de presión.

Para ambos casos, las fuerzas que actúan sobre los anclajes son:

a) Componente del peso de la tubería con agua perpendicular a ella (F_1)

Esta fuerza es similar a la fuerza F_1 considerada para los apoyos.

Para el cálculo del anclaje, deben considerarse los dos tramos de tubería: el que está aguas arriba y el que está aguas abajo del anclaje.

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \alpha \quad \text{Ec 3.31}$$

Donde:

L_1 : Distancia del anclaje al punto medio del tramo. α : Ángulo de inclinación del tramo de tubería analizado aguas arriba del anclaje.

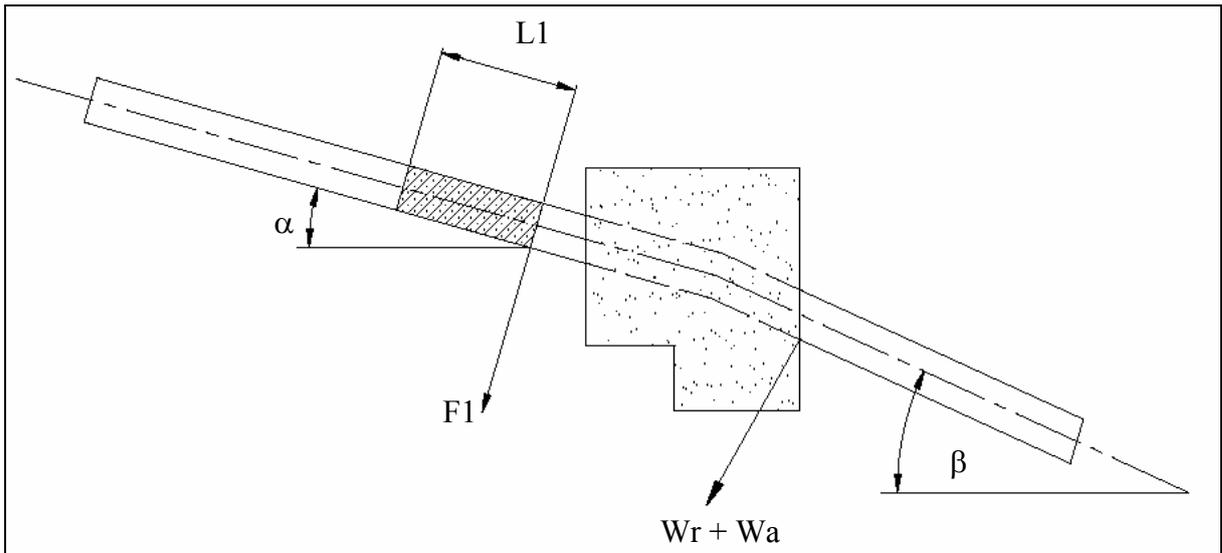


Fig 3.46 Cálculo de la fuerza F1

b) Fuerza de fricción entre la tubería y los apoyos (F2).

Esta fuerza existe sólo en el caso de que existan uno o más apoyos entre el anclaje y la junta de dilatación.

Ejemplo: si existiera una junta de dilatación en el tramo inferior, inmediatamente después del anclaje, las fuerzas de fricción correspondientes al tramo inferior no son transmitidas al anclaje en estudio, sino al que está más abajo.

$$F_2 = \mu \times (W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha \quad \text{Ec 3.44}$$

Donde:

L2: Longitud de la tubería sujeta a movimiento. α : Ángulo de inclinación de la tubería

aguas arriba del anclaje. Usar β para aguas abajo del anclaje.

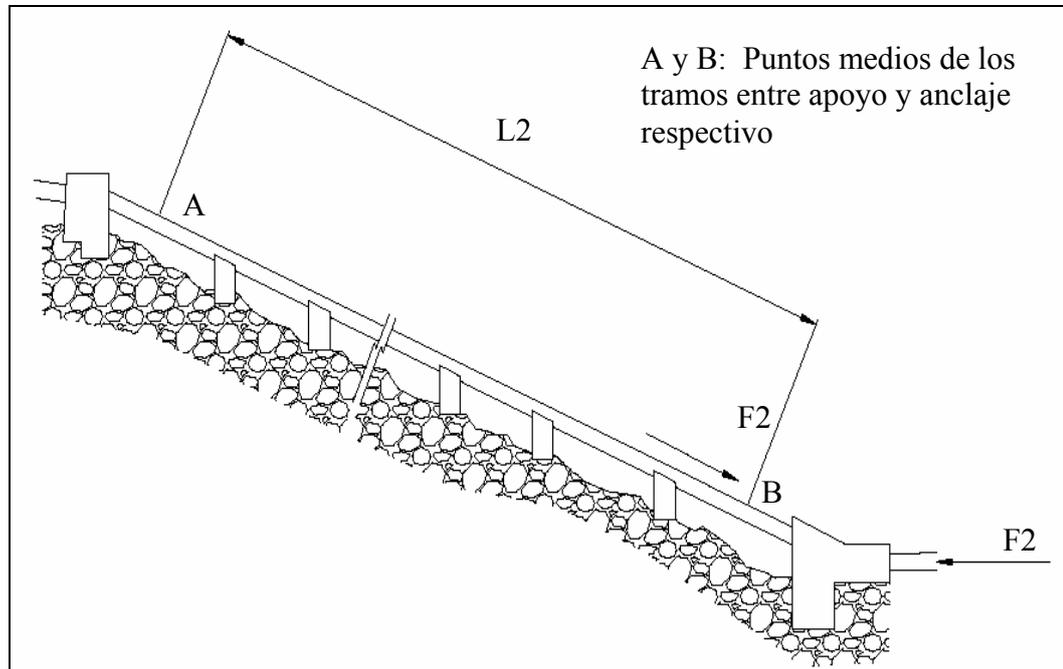


Fig 3.47 Cálculo de la fuerza F2

c) Fuerza en los cambios de dirección debido a la presión hidrostática (F_3)

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times H \times D^2 \times \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2} \quad \text{Ec 3.45}$$

Donde:

H: Presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m. **D:** Diámetro interno de la tubería en m. α : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba del anclaje. β : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje.

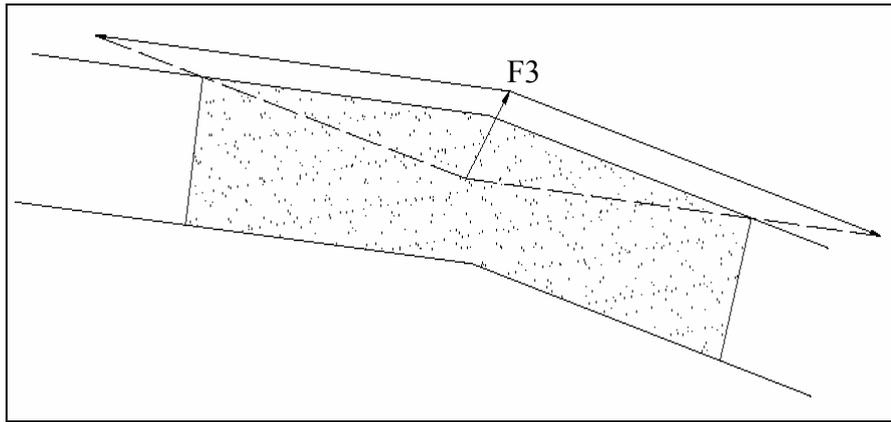


Fig 3.48 Cálculo de la fuerza F3

d) Componente del peso de la tubería paralela a ella (F4)

El tramo de tubería aguas arriba del anclaje tratará de empujar a éste, mientras que el tramo aguas abajo del anclaje tratará de jalarlo en la dirección de la pendiente.

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen} \alpha \quad \text{Ec 3.46}$$

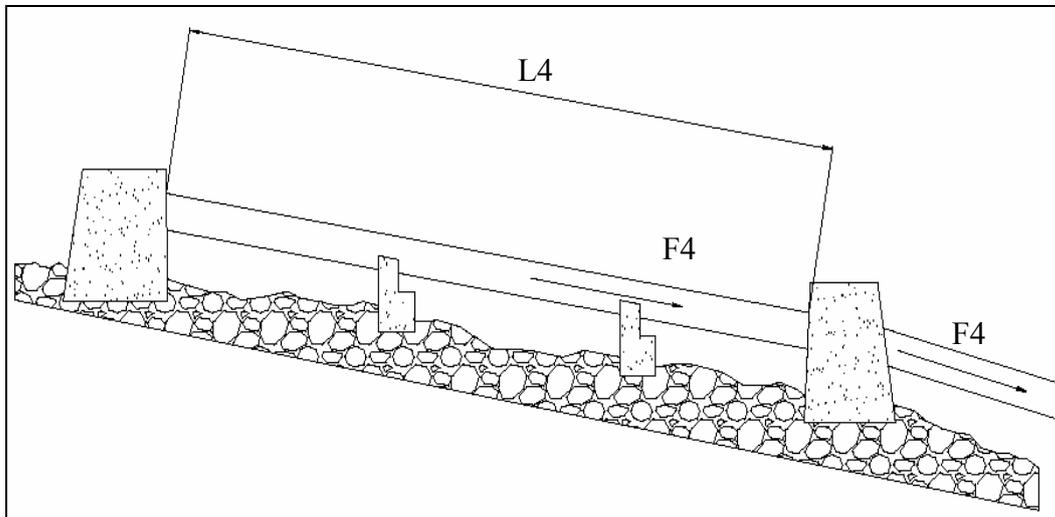


Fig 3.49. Cálculo de la fuerza F4

Donde

L₄ : Es la longitud de tubería a considerar en cada tramo. Generalmente, es el tramo entre anclajes. **a** : Ángulo de inclinación de la tubería.

Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería (F5)

Esta fuerza se origina cuando la tubería no tiene juntas de dilatación y cuando esta se encuentra en la superficie.

$$F_5 = 31 \times D \times t \times E \times a \times \Delta T \quad \text{Ec 3.47}$$

Donde:

D: Diámetro del tubo en m. **t:** Espesor de la pared del tubo en mm. **a:** Coeficiente de dilatación lineal de la tubería ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). ΔT : Máxima variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).
E: Módulo de elasticidad de Young (Kg-f/cm^2).

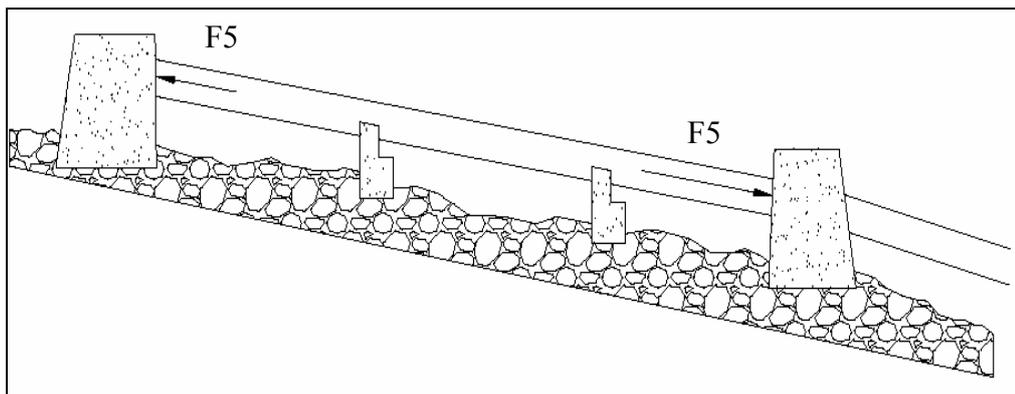


Fig 3.50 Cálculo de la fuerza F5

e) Fuerza de fricción en la junta de dilatación (F6)

Esta fuerza se origina entre la empaquetadura y las partes de la junta de dilatación, cuando se contrae o se dilata la tubería.

$$F_6 = 3.1 \times D \times C \quad \text{Ec 3.48}$$

Donde:

D: Diámetro interior de la tubería en m. **C:** Fricción en la junta de expansión por unidad de longitud de circunferencia en Kg-f/m (un valor aproximado es $F_6 = 10 \times D$ en Kg-f , en este caso D en mm.)

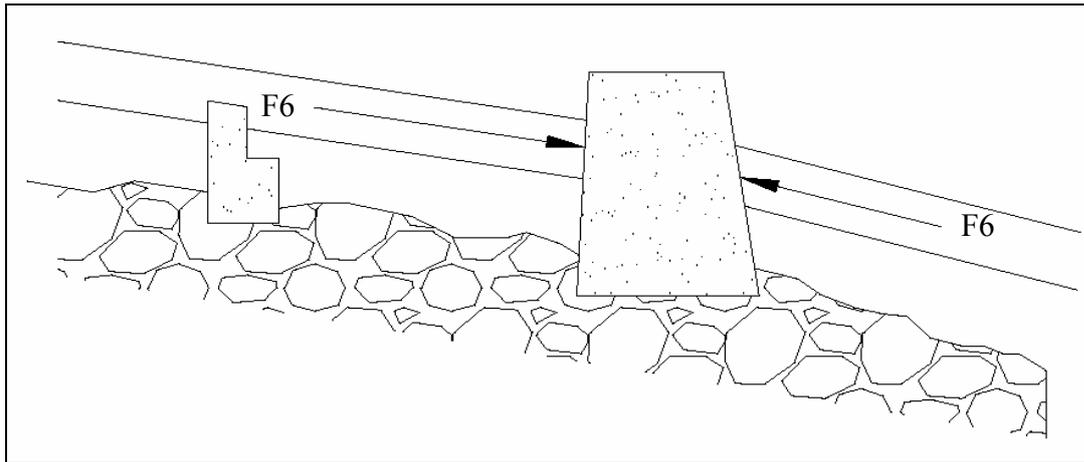


Fig 3.51 Cálculo de la fuerza F6

g) Fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión (F7)

Esta fuerza es debido a la presión hidrostática que trata de separar en dos la junta de dilatación.

$$F_7 = 3.1 \times H \times D \times t \quad \text{Ec 3.49}$$

Donde:

H: Presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m. **D:** Diámetro interior de la tubería. **t:** Espesor de la pared de la tubería en mm.

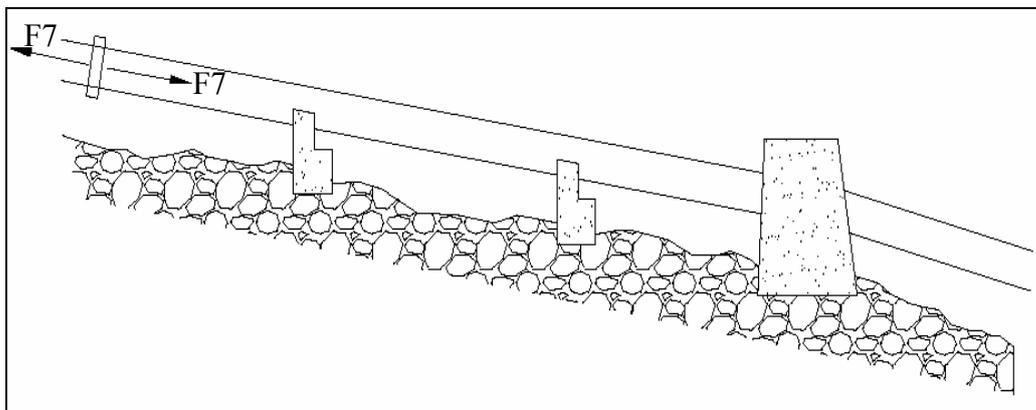


Fig 3.52 Cálculo de la fuerza F7

h) Fuerza debida al cambio de dirección de la cantidad de movimiento (F8)

En los codos o cambios de pendiente, la velocidad del agua cambia de dirección. Ello ocasiona una fuerza resultante sobre el codo, la cual tiene la misma dirección y sentido que F3.

Generalmente, la magnitud de esta fuerza es mínima, por lo que no se toma en cuenta.

$$F_8 = 250 \left(\frac{Q}{D} \right)^2 \times \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2} \quad \text{Ec 3.50}$$

Donde

Q : caudal en la tubería (m³/s)

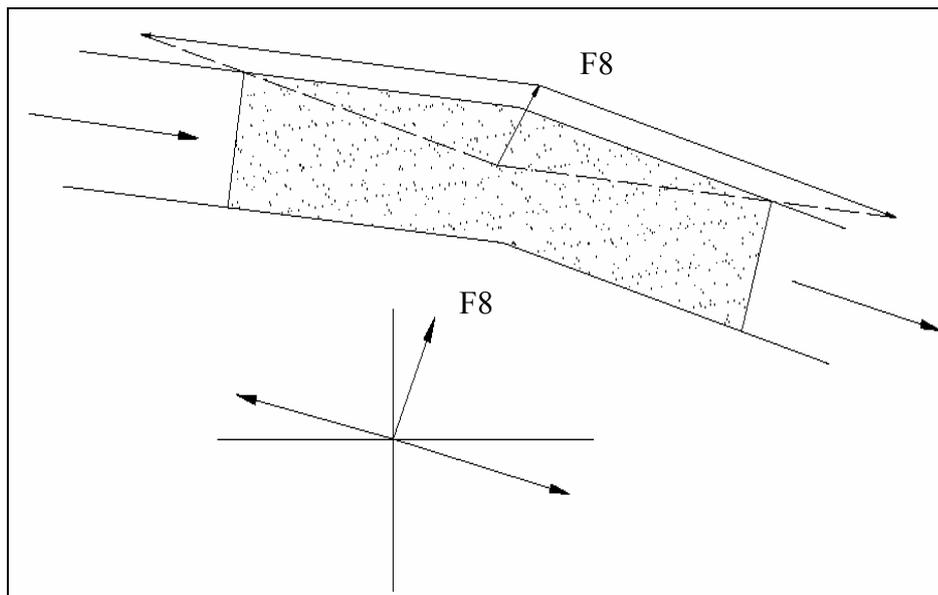


Fig 3.53 Cálculo de la fuerza F8

i) Fuerza debida al cambio del diámetro en la tubería cuando hay reducción (F9)

Esta fuerza actúa en sentido de la reducción, es decir, hacia la tubería de menor diámetro.

$$F_9 = 1 \times 10^5 \times H \times \Delta A \quad \text{Ec 3.51}$$

Donde:

H : Presión estática en la tubería a la altura de la reducción en m. ΔA : Cambio de las áreas de las tuberías en m².

Las figuras que se han mostrado anteriormente, indican la dirección de las fuerzas para el caso en que la tubería se esté dilatando.

Si la tubería se estuviera contrayendo, las fuerzas F2, F5 y F6 tienen sentido contrario.

Una vez analizada la magnitud de las fuerzas, se procede al cálculo de la estabilidad del anclaje siguiendo el mismo procedimiento que para el cálculo de los apoyos, es decir considerando los dos casos: dilatación y contracción de la tubería.

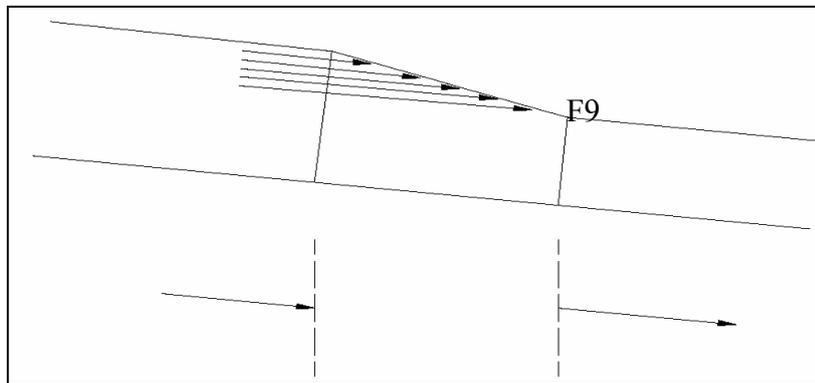


Fig 3.54 Cálculo de la fuerza F9

3.6. Preselección de la obra civil

Bocatoma

La bocatoma, es la estructura inicial y tal vez la más importante, mediante la cual se capta el recurso hídrico necesario para el funcionamiento de los equipos transformadores de la energía hidráulica, y cuyo emplazamiento, cálculo, diseño y construcción debe responder necesariamente a las exigencias mínimas establecidas. Esta se diseñará para las condiciones de máxima avenida probable del recurso hídrico y su proceso constructivo deberá desarrollarse de preferencia en períodos de estiaje o ausencia de lluvias.

Dimensionamiento

El agua es captada por la toma de agua ubicada aguas arriba del azud en el momento que separa el desripiador del río, a una distancia suficiente que permita durante la construcción la ubicación de la ataguía, y aguas abajo se prolonga hasta conectarse con la compuerta de purga. El umbral de la ventana debe estar a una altura no inferior a 60 cm del fondo, su dintel es de hormigón armado y está a una altura mayor de la creciente, además debe soportar su propio peso, el empuje horizontal del agua creciente, apoyado solo en sus extremos.

La reja debe soportar el impacto de troncos y otros materiales gruesos flotantes que son traídos por las crecientes; por lo que debe estar hecha de barrotes fuertes, con un ancho no menor a 10 cm, de rieles de acero o de hormigón armado.

El azud debe tener una altura igual a la suma de la altura del umbral desde el fondo del cauce mas la altura de los barrotes, la toma de agua en épocas de estiaje se comporta como un vertedero sumergido con un desnivel muy pequeño entre las dos superficies de agua. Cuando los niveles de agua suben, la toma queda sumergida trabajando como orificio, regulando el caudal que entra en el canal.

Bocatoma

Datos

Potencia instalada	$P_i := 40\text{kW}$
Caudal de diseño	$Q := 0.44 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Altura sobre el umbral	$Y_1 := 1\text{m}$
Altura del agua sobre el vertedero	$H := 0.3\text{m}$
Desnivel entre las superficies de agua (vertedero-desripiador)	$Z := 0.1\text{m}$
Altura del desripiador	$Y_2 := 0.8\text{m}$
Ancho de los barrotes	$a_p := 0.05\text{m}$
Velocidad de entrada a los barrotes	$V_e := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Separación entre barrotes	$b_p := 0.2\text{m}$

Caudal medio anual

$$Q_m := 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Perímetro mojado correspondiente a Q_m

$$P := 2.3\text{m}$$

Cálculos:

Elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta

$$h_n := H - Z$$

$$h_n = 0.2\text{m}$$

Altura del agua en el desripiador

$$h := Y_2 + h_n$$

$$h = 1\text{m}$$

Coefficiente de corrección de sumersión

$$s_0 := 1.05 \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{h_n}{Y_2} \right) \cdot \left(\frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s_0 = 0.764$$

Coefficiente de Konovalov²

$$M := \left(0.407 + \frac{0.045 \cdot H}{H + Y_1} \right) \cdot \left[1 + 0.285 \cdot \left(\frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \text{lm} \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$M = 1.87$$

Ancho de la toma de agua

$$b_1 := \frac{Q}{\mu \cdot s_0 \cdot M \cdot H^{\frac{3}{2}}}$$

$$b_1 = 2.074\text{m}$$

Número de barroses

$$n := \frac{b_1}{b_p}$$

$$n = 10.369$$

¹ Ortiz Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas, pág 128

Número de barrotes $N := 10$

Ancho total de la reja de la toma de agua

$$B := b1 + N \cdot ap$$

$$B = 2.574\text{m}$$

Velocidad media anual

$$Vr := \frac{Qm}{P} \cdot \frac{1}{m}$$

$$Vr = 0.217\text{ms}^{-1}$$

Angulo del muro con respecto al río

$$\beta := 90\text{deg} - \text{acos}\left(\frac{Vr}{Ve}\right)$$

$$\beta = 12.556\text{deg}$$

Altura del azud

$$H2 := Y1 + H$$

$$H2 = 1.3\text{m}$$

Desripiador

Datos

Elevación del agua bajo el canal sobre la cresta $hnp := 0.1\text{m}$

Altura del agua sobre el rebosadero $Hp := 0.4\text{m}$

Altura del canal $Y3 := 0.6\text{m}$

Desnivel entre las superficies de agua (desripiador - canal) $Zp := 0.1\text{m}$

Ancho de la solera del canal de lavado $bs := 1\text{m}$

Coefficiente de rugosidad para piso de piedra $n1 := 0.03$

Cálculos

Coefficiente de corrección de sumersión

$$sd := 1.05 \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{hnp}{Y3}\right) \cdot \left(\frac{Zp}{Hp}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$sd = 0.684$$

Coeficiente de Konovalov

$$M1 := \left(0.407 + \frac{0.045 \cdot Hp}{Hp + Y3} \right) \cdot \left[1 + 0.285 \cdot \left(\frac{Hp}{Hp + Y3} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$M1 = 1.96$$

Ancho del rebosadero

$$b2 := \frac{Q}{sd \cdot M1 \cdot Hp^{\frac{3}{2}}}$$

$$b2 = 1.293m$$

Longitud del desripiador

$$Ld := \frac{(b1 - b2)}{2 \cdot \tan(\beta)}$$

$$Ld = 1.753m$$

Area del canal de evacuación

$$Aev := Y2 \cdot bs$$

$$Aev = 0.8m^2$$

Velocidad de evacuación

$$Vd := 3m \cdot s^{-1}$$

Perímetro mojado correspondiente a la evacuación

$$Pd := bs + 2 \cdot Y2$$

$$Pd = 2.6m$$

Radio hidráulico

$$Rd := \frac{Aev}{Pd}$$

$$Rd = 0.308m$$

Pendiente del canal de evacuación

$$j_c := \frac{n1 \cdot Vd}{Rd^{\frac{4}{3}}} \cdot m^{\frac{1}{3}} \cdot s$$

$$j_c = 0.433$$

Compuerta de lavado

Datos

Constante	$K_c := 0.96$
Apertura de la compuerta	$a := 0.5m$
Ancho de la compuerta	$bc := 1m$

Cálculos

Razón a/h

$$\frac{a}{h} = 0.5$$

Coefficiente en función a/h $e := 0.63$

Caudal desalojado por el canal de lavado

$$Q_v := K_c \cdot e \cdot a \cdot bc \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 m \cdot s^{-2} \cdot \left(h + \frac{Vd^2}{2 \cdot 9.81 \cdot m \cdot s^{-2}} - e \cdot a \right)}$$

$$Q_v = 1.432 m^3 s^{-1}$$

Las dimensiones seleccionadas para esta aplicación se detallan a continuación (Ver el diagrama de la bocatoma en el anexo XII):

Tabla 3.4. Dimensiones escogidas para los componentes de la bocatoma lateral

Toma de agua		
Descripción	Nomenclatura	Valor
Altura sobre el umbral (m) (0,6-0,8 m min)	Y1	1,00
Altura del agua sobre el vertedero (m)	H	0,30
Desnivel entre las superficies de agua (vertedero- desripiador) (m)	Z	0,10
Altura del desripiador (m)	Y2	0,80
Ancho de los barrotos (m)	a'	0,05
Velocidad de entrada a los barrotos (m/s)	Ve	1,00

Tabla 3.4. Dimensiones escogidas para los componentes de la bocatoma lateral
(continuación)

Descripción	Nomenclatura	Valor
Separación entre barrotes (m)	b'	0,20
Altura de la ventana de la toma (m)	h'	1,00
Caudal medio anual (m ³ /s)	Qm	0,50
Perímetro mojado correspondiente a Qm (m)	P	2,30
Elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta (m)	hn	0,20
Altura del agua en el desripiador (m)	h	1,00
Ancho de la toma de agua (m)	b1	1,70
Número de espacios entre los barrotes	n	8,48
Número de barrotes	N	8,00
Ancho total de la reja de la toma de agua (m)	B	2,10
Velocidad media anual (m/s)	Vr	0,22
Angulo del muro con respecto al río (Deg)	□	12,56
Altura del azud (m)	H''	1,30
Desripiador		
Elevación del agua bajo el canal sobre la cresta (m)	hn'	0,10
Altura del agua sobre el rebosadero (m)	H'	0,40
Altura del canal (m)	Y3	0,60
Desnivel entre las superficies de agua (desripiador - canal) (m)	Z'	0,10
Ancho de la solera del canal de lavado (m)	bs	1,00
Ancho del rebosadero (m)	b2	1,06
Longitud del desripiador (m)	Ld	1,44
Area del canal de evacuación (m ²)	Aev	0,80
Velocidad de evacuación (m/s)	V	3,00
Toma de agua		
Perímetro mojado correspondiente a la evacuación (m)	P	1,60
Radio hidráulico (m)	R	0,50
Pendiente del canal de evacuación	jc	0,19
Compuerta de lavado		
Apertura de la compuerta (m)	a	0,30
Ancho de la compuerta	bc	1,00
Razón a/h	a/h	0,30
Caudal desalojado por el canal de lavado (m ³ /s)	Qv	0,90
Volumen total de hormigón necesario (m³)		14,736

Obras de aliviadero (función general de las obras de aliviadero)

Las obras de toma, tales como la toma en el lecho y la toma mediante espigones, se las diseña de una manera tal que, con un cierto nivel de agua (caudal) en el río, una cantidad de agua determinada sea introducida al canal de agua motriz, La

cantidad de agua captada cambia de acuerdo a los caudales del río, razón por la cual ésta puede ser muchas veces mayor que el caudal de diseño del canal de agua motriz.

Con el fin de delimitar el caudal del canal de agua motriz al caudal de diseño, se debe construir un obra de aliviadero detrás de la bocatoma, de manera que las cantidades excesivas de agua puedan ser reconducidas hacia el río. Las obras más favorables para tal fin son los vertederos laterales, ya que:

- El nivel de agua en el canal puede ser limitado mediante los mismos, es decir al presentarse niveles de agua más altos, el exceso puede ser derivado por medio de un vertedero fijo colocado en la pared del canal;
- No son necesarias compuertas móviles, de manera que la obra de aliviadero prácticamente no requiere trabajos de mantenimiento.

En un canal con caudales afluentes variables no debe ser sobrepasado un cierto nivel en el cauce aguas abajo de la obra de aliviadero. De acuerdo a estos requerimientos y dadas las dimensiones del canal, la rugosidad y la pendiente del canal, se conoce el caudal de diseño como Q_d del canal aguas abajo .

Siendo conocido el caudal afluente Q_t hay que escoger la longitud del vertedero de tal manera que la diferencia entre Q_t y $Q_v = Q_d$ ($Q_d =$ caudal de diseño) pueda ser descargado lateralmente por encima del vertedero (ver anexo No XIV).

Los cálculos de diseño se detallan a continuación:

Aliviadero

Datos

Coefficiente de vertedero para cresta rectangular gruesa

$$M_a := 0.49$$

Caudal vertido crítico

$$Q_{vc} := 0.44 \frac{m^3}{s}$$

Altura del aliviadero

$$H_a := 0.2m$$

Cálculos

Ancho del vertedero

$$B_v := \frac{Q_{vc}}{\frac{2}{3} \cdot Ma \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}} \cdot Ha^{\frac{3}{2}}}$$

$$B_v = 3.4 \text{ m}$$

Altura de seguridad

$$S := j \cdot D + Ha + 0.05 \text{ m}$$

$$S = 1.123 \text{ m}$$

Canal de aducción

El canal de aducción (o conducción) permite conducir de manera segura y permanente el caudal requerido por las turbinas alojadas en la casa de máquinas y deberá ser diseñado para las condiciones de máxima potencia probable de tales equipos. Es normalmente suficiente que las secciones adoptadas sean las rectangulares para caudales de hasta 600 a 800 l/s, y trapezoides para caudales mayores.

En MCH's de hasta 50 a 80 [kW], es suficiente considerar canales en tierra y/o emboquillados de piedra, dependiendo de la pendiente y posibilidades geológicas y topográficas de los terrenos que éste deba atravesar, y será suficiente utilizar un coeficiente de rugosidad de Manning de $n = 0.22$ a 0.015 .

Deberá evitarse el trazo del canal con curvas de menos de 25 [m] de radio. Será preferible considerar suficiente movimiento de tierras en la ejecución de la plataforma, antes que ejecutar muros de protección o de contención para el caso de laderas con mucha pendiente (mayores a 70 grados).

Deberá evitarse, en lo posible, el diseño de puentes-canal o canoas por el alto costo que ello implica. Será preferible tener una mayor longitud de canal, que de todos modos resulta más económico y cuyo mantenimiento será más fácil.

Los cálculos de diseño se detallan a continuación:

Canal de conducción

Datos

Angulo de inclinación

$$\gamma := 0.10 \text{deg}$$

Velocidad máxima permitida

$$V_{\text{max}} := 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad del agua

$$V_a := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Coefficiente de pérdida en función del material (lecho de piedra)

$$n_m := 0.02 \text{m}^{\frac{-1}{3}} \cdot \text{s}$$

Tirante del canal

$$d := 0.4 \text{m}$$

Ancho del canal

$$b := 1 \text{m}$$

Distancia entre aliviaderos

$$D := 500 \text{m}$$

Cálculos

Gradiente del canal

$$j := \tan(\gamma)$$

$$j = 1.745 \times 10^{-3}$$

Sección requerida para el caudal.

$$A_c := \frac{Q}{V_a}$$

$$A_c = 0.44 \text{m}^2$$

Perímetro mojado

$$P_c := b + 2 \cdot d$$

$$P_c = 1.8 \text{m}$$

Radio hidráulico

$$R_c := \frac{A_c}{P_c}$$

$$R_c = 0.244 \text{m}$$

Velocidad real en el canal

$$V_{rc} := \frac{R_c^{\frac{2}{3}} \cdot j^{\frac{1}{2}}}{n_m}$$

$$V_{rc} = 0.817 \text{ms}^{-1}$$

Area del caudal

$$Ar := \frac{Q}{Vrc}$$

$$Ar = 0.539m^2$$

Tirante real del agua

$$dr := \frac{Ar}{b}$$

$$dr = 0.539m$$

Las dimensiones escogidas son (ver anexo XIV):

Tabla 3.5. Dimensiones escogidas para el canal de conducción y los aliviaderos

Canal de conducción (rectangular)		
Descripción	Nomenclatura	Valor
Velocidad del agua (m/s)	V	1,00
Velocidad máxima permitida (m/s)	Vmax	1,80
Coefficiente en función del material (piedra)	n	0,02
Gradiente del canal	j	0,00
Sección requerida para Q (m ²)	A	0,36
Tirante del canal (m)	d	0,40
Ancho del canal (m)	b	2,00
Perímetro mojado (m)	P	2,80
Radio hidráulico (m)	R	0,13
Velocidad real (m/s)	Vr	0,25
Area del caudal (m ²)	Ar	1,42
Tirante real del agua (m)	dr	0,71
Distancia entre aliviaderos (m)	D	500,00

Tabla 3.5. Dimensiones escogidas para el canal de conducción y los aliviaderos (continuación)

Aliviadero		
Coeficiente de vertedero	M	0,49
Caudal vertido crítico (m ³ /s)	Qv	0,36
Altura del vertedero	H	0,15
Ancho del vertedero (m)	B	4,28
Altura de seguridad (m)	S	0,45
Volumen total de hormigón necesario (m³)		2200,00

Desarenador y cámara de carga (o tanque de presión)

El desarenador y la cámara de carga (o tanque de presión) son dos estructuras que normalmente se construyen adyacentes a través de las cuales se pueden eliminar por decantación la mayor proporción de material fino, y al mismo tiempo lograr que la tubería forzada trabaje a sección llena evitando acciones de sobrepresión o cavitación a través de la segunda.

Normalmente se construyen de concreto armado y semienterradas y sus características geométricas están influenciadas por el caudal de diseño de la MCH y por la velocidad de sedimentación de las partículas en arrastre principalmente.

Deberá considerarse como la velocidad de ingreso y recorrido del agua, como máximo hasta 0.25 [m/s]. El diámetro del grano límite será asumido como 0.2 [mm] y hasta un máximo de 0.05 [mm]. El espesor de muros deberá ser como máximo de 0.20 [mm].

El tanque de presión deberá ser conceptualizado con suficiente volumen para poder amortiguar las variaciones de presión originadas por el manipuleo de las válvulas de la turbina.

Los cálculos de diseño se detallan a continuación:

Desarenador

Datos

Tamaño límite de grano

$$d_{lim} := 0.1\text{mm}$$

Velocidad de sedimentación para partículas sólidas por su tamaño

$$V_s := 0.692\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Velocidad horizontal (0.1-0.4)

$$V_h := 0.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Profundidad media

$$h_m := 1.5\text{m}$$

Cálculos

Empuje ascensorial dinámico

$$W := 0.152 \cdot V_s$$

$$W = 0.105\text{ms}^{-1}$$

Longitud del desarenador

$$L := \frac{V_h \cdot h_m}{V_s - W}$$

$$L = 1.022\text{m}$$

Tiempo de decantación

$$t_d := \frac{1.14\text{m}}{V_h}$$

$$t_d = 2.85\text{s}$$

Tiempo de sedimentación

$$t_s := \frac{h_m}{V_s - W}$$

$$t_s = 2.556\text{s}$$

Cumple que $t_d > t_s$

Ancho mínimo del desarenador

$$Q_d := \frac{Q}{h_m \cdot V_h}$$

$$Q_d = 0.733\text{m}$$

Se toma el mismo ancho del canal de 2

Las dimensiones escogidas para estos elementos son (ver diagrama en el anexo XIII):

Tabla 3.6. Dimensiones escogidas para el desarenador y cámara de carga

Desarenador		
Descripción	Nomenclatura	Valor
Tamaño límite de grano (mm)	d _{lim}	0,10
Velocidad de sedimentación (m/s)	V _s	0,69
Velocidad horizontal (m/s)	V _d	0,40
Profundidad media (m)	h	1,50
Longitud del desarenador (m)	L	1,02
Tiempo de decantación (s)	t _d	2,85
Tiempo de sedimentación (s)	t _s	2,56
Ancho del desarenador (m)	Q	0,60
Volumen total de hormigón necesario (m³)		15,00

Los cálculos de diseño de la cámara de carga o tanque de presión se detallan a continuación:

Tanque de presión

Datos

Altura	H _c := 24m
Altura de conducción	h ₁ := 0.4m
Ancho de conducción	b ₁ := 1m
Longitud de la tubería de presión	L := 50m
Altura para evitar el ingreso de sedimentos	a ₁ := 0.3m
Altura equivalente a la tubería de presión	a ₂ := 0.55m
Altura de seguridad para el golpe de ariete	a ₄ := 0.4m

Cálculos

Diámetro de la tubería de presión

$$D := 1.27\text{m}^{0.0042} \cdot \text{s}^{0.4268} \cdot \frac{Q^{0.4268}}{(0.05 \cdot \text{Hc}^2)^{0.1423}}$$

$$D = 0.555\text{m}$$

Altura mínima para evitar la cavitación

$$a3 := 1 \cdot D$$

$$a3 = 0.555\text{m}$$

Altura de la cámara

$$h2 := 1.50\text{m}$$

Velocidad media de la cámara

$$V2 := 0.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ancho del tanque

$$b2 := \frac{Q}{V2 \cdot h2}$$

$$b2 = 0.489\text{m}$$

Se toma el mismo ancho del canal $b2 := 2\text{m}$

Altura del volumen en el tanque para el arranque

$$h2d := \frac{Q}{7\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1} \cdot b2 \cdot \sqrt{h2}}$$

$$h2d = 0.026\text{m}$$

$$hp2e := a1 + a2 + a3 + h2d$$

$$hp2e = 1.43\text{m} \quad hp2e < h2$$

Longitud de la cámara de presión

$$L2 := 0.304\text{m}^{\frac{-1}{2}} \cdot \text{s} \cdot \frac{Q \cdot L \cdot \sqrt{h2}}{\text{Hc} \cdot D^2}$$

$$L2 = 1.11\text{m}$$

Altura del nivel máximo

$$h_{2e} := \frac{0.25m^{-5} \cdot s \cdot Q}{b_2 \cdot \sqrt{h_2}}$$

$$h_{2e} = 0.045m$$

Caudal crítico

$$Q_v := .44 \frac{m^3}{s}$$

Altura de la cámara de presión

$$h_T := h_2 + h_{2e} + a_4$$

$$h_T = 1.945m$$

Por los resultado obtenidos, el detalle de los componentes de la cámara de carga se encuentran a continuación en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Dimensiones escogidas para la cámara de carga

Tanque de presión		
Descripción	Nomenclatura	Valor
Altura de conducción (m)	h1	0,40
Ancho de conducción (m)	b1	2,00
Longitud de la tubería de presión (m)	L	82,00
Altura para evitar el ingreso de sedimentos (m)	a1	0,30
Altura equivalente a la tubería de presión (m)	a2	0,47
Altura de seguridad para el golpe de ariete (m)	a4	0,30
Diámetro de la tubería de presión (m)	D	0,47
Altura mínima para evitar la cavitación (m)	a3	0,47
Altura de la cámara (m)	h2	1,30
Velocidad media de la cámara (m/s)	V2	0,60
Ancho del tanque (m)	b2	0,38
Altura del volumen en el tanque para el arranque (m)	h2d	0,02
	h'2e	1,26
Longitud de la cámara de presión (m)	L2	1,23
Altura del nivel máx (m)	h2e	0,03
Caudal crítico (m3/s)	Qv	0,36
Altura del vertedero	H	0,15
Ancho del vertedero (m)	B	4,28
Altura de la cámara de presión (m)	ht	1,63

Tubería de presión, anclajes y apoyos.

Por la pendiente de la ladera, es necesario colocar 3 anclajes distribuidos simétricamente en la tubería, de igual manera, para evitar que la tubería fleje, es necesario colocar 2 apoyos, uno entre cada anclaje, con juntas de expansión, para evitar esfuerzos por la dilatación o la contracción de la línea, por lo que la tubería, los apoyos y los anclajes se los calcula según el método descrito en el inciso 3.6.5. como se muestra a continuación:

Tubería de presión

Datos:

$$Q := 0.44 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$L := 82\text{m}$$

$$h_b := 25\text{m}$$

Tubería de presión

$$D := 0.5588\text{m}$$

$$d := 0.50\text{m}$$

$$e := \frac{D - d}{2}$$

$$e = 28.9\text{mm}$$

Rugosidad de pared para PVC

$$K := 0.003\text{mm}$$

Cálculo

$$\frac{K}{d} = 5.988 \times 10^{-6}$$

$$1.27 \cdot \frac{Q}{d} = 1.115 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$$

Por el diagrama de Moody

$$f := 0.0125$$

Pérdida de carga debido a la fricción en las paredes

$$hf := 0.08 \text{m}^{-1} \cdot \frac{f \cdot L \cdot Q^2}{d^5}$$

$$h_f = 0.503\text{m}$$

Velocidad en la tubería

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

$$V = 2.232\text{ms}^{-1}$$

Pérdidas por turbulencia en la tubería

$$k_1 := 0.5 \quad \text{Pérdida en el inicio de la tubería}$$

$$k_2 := 0.1 \quad \text{Pérdida por la válvula de compuerta}$$

$$h_t := \frac{V^2}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \cdot (k_1 + k_2)$$

$$h_t = 0.152\text{m}$$

Pérdida de carga total

$$h := h_f + h_t$$

$$h = 0.655\text{m}$$

Caída porcentual de pérdida en la tubería debido a la fricción:

$$P := \frac{h \cdot 100}{h_b}$$

$$P = 2.621 \quad \%$$

Cálculo del espesor de la tubería

Sobre presión por golpe de ariete

$$a := 350 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad de propagación de onda para tuberías de PVC}$$

$$\Delta h := \frac{a \cdot V}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h = 79.632\text{m}$$

Caída total cuando ocurre golpe de ariete

$$H_t := h_b + \Delta h$$

$$H_t = 104.632\text{m}$$

Espesor teórico de la tubería

$$S := 28 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{Resistencia del PVC}$$

$$fs := 3 \frac{\text{N}}{\text{m}^4} \cdot \text{mm} \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$T := \frac{5 \cdot fs \cdot Ht \cdot 10^6 \cdot d}{S}$$

$$T = 28.082\text{mm}$$

El espesor teórico necesario (T) es menor que el espesor de la tubería seleccionada (e) con un factor de seguridad de 3, por lo tanto, la tubería seleccionada cumple con los esfuerzos necesarios.

Tabla 3.8. Dimensiones escogidas para la tubería de presión ($\phi 22$).

Diámetro externo (D) (m)	0.5588
Diámetro interno (d) (m)	0.501
Angulo de inclinación del tubo (a) ($^{\circ}$)	45
Distancia entre anclajes (La) (m)	7
Juntas de expansión	1
Distancia del anclaje a la junta (m)	1
Número de apoyos	2
Número de anclajes	3
Número de válvulas	2
Tipo de válvulas	Compuerta

Las dimensiones de los apoyos se los determinó de la siguiente manera:

Método de cálculo para apoyos y anclajes .

Datos:

Tubo de presión

$$De := 0.3239\text{m}$$

$$D := 0.3032\text{m}$$

$$\gamma_t := 7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha := 45\text{deg}$$

$$L_a := 7\text{m}$$

$$E := 21.02 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q := 0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Agua

$$\gamma_a := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Concreto

$$\gamma_c := 2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Concreto y Acero

$$\mu := 0.5$$

Cálculos

$$W_t := \gamma_t \cdot \pi \cdot \frac{(D_e^2 - D^2)}{4}$$

$$W_t = 80.135 \text{kg m}^{-1}$$

$$W_a := \gamma_a \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

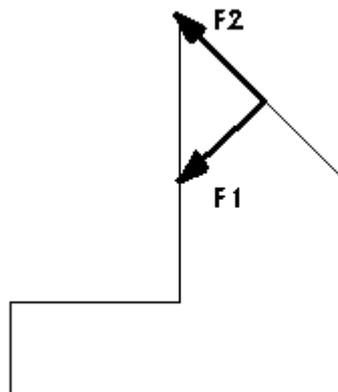
$$W_a = 72.202 \text{kg m}^{-1}$$

$$F_1 := (W_t + W_a) \cdot L_a \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_1 = 754.026 \text{kg}$$

$$F_2 := \mu \cdot F_1$$

$$F_2 = 377.013 \text{kg}$$



Momento Flector y Flecha máxima originada por el peso del tubo y agua

$$W_T := W_t + W_a$$

$$W_T = 152.336 \text{kg m}^{-1}$$

$$M := WT \cdot \frac{La^2}{8}$$

$$M = 933.06 \text{ kg m}$$

$$I := \pi \cdot \frac{(De^4 - D^4)}{64}$$

$$I = 1.254 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\Delta := \frac{5}{384} \cdot \frac{WT \cdot La^4}{E \cdot I}$$

$$\Delta = 1.806 \times 10^{-3} \text{ m}$$

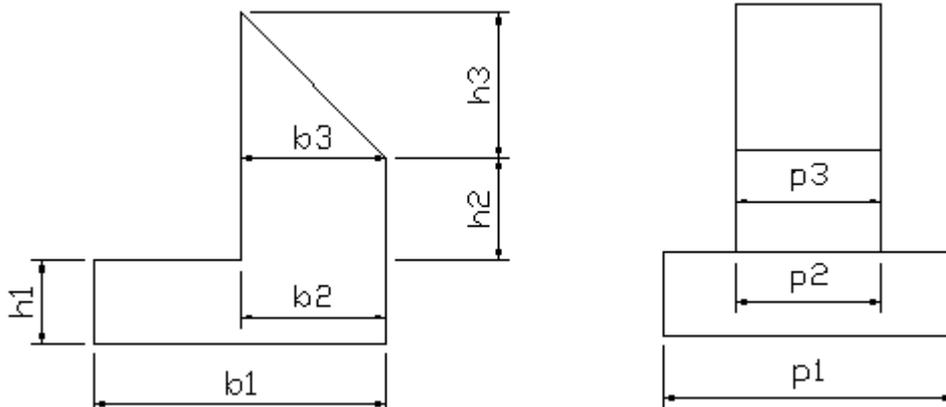
$$\Delta = 1.806 \text{ mm}$$

$$\Delta_{adm} := \frac{1}{360} \cdot La$$

$$\Delta_{adm} = 19.444 \text{ mm}$$

Como Δ es menor que Δ admisible, entonces cumple

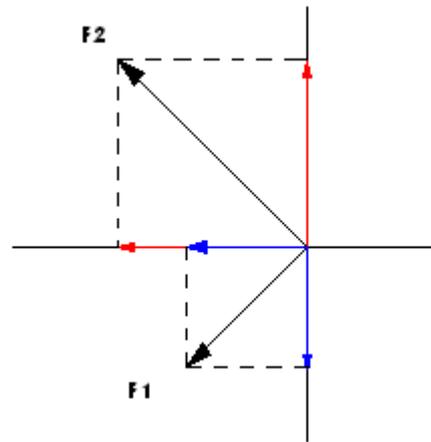
Cálculo del peso del bloque de concreto



$$\begin{aligned}
 h1 &:= 0.5\text{m} & b1 &:= 1.6\text{m} & p1 &:= 1.6\text{m} \\
 h2 &:= 0.5\text{m} & b2 &:= 0.7\text{m} & p2 &:= 0.7\text{m} \\
 h3 &:= 0.7\text{m} & b3 &:= 0.7\text{m} & p3 &:= 0.7\text{m} \\
 \\
 V1 &:= h1 \cdot b1 \cdot p1 & V2 &:= h2 \cdot b2 \cdot p2 & V3 &:= \frac{h3 \cdot b3}{2} \cdot p3 \\
 V1 &= 1.28\text{m}^3 & V2 &= 0.245\text{m}^3 & V3 &= 0.171\text{m}^3 \\
 \\
 V_T &:= V1 + V2 + V3 \\
 V_T &= 1.697\text{m}^3 \\
 \\
 W_c &:= \gamma_c \cdot V_T \\
 W_c &= 3.902 \times 10^3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Estabilidad del anclaje

$$\begin{aligned}
 \mu t &:= 0.2 \\
 \Sigma F_x &< \mu t \cdot \Sigma F_y \\
 \Sigma F_x &:= -F1 \cdot \sin(\alpha) - F2 \cdot \cos(\alpha) \\
 \Sigma F_x &= -799.766\text{kg} \\
 \Sigma F_y &:= -F1 \cdot \cos(\alpha) + F2 \cdot \sin(\alpha) - W_c \\
 \Sigma F_y &= -4.169 \times 10^3 \text{ kg} \\
 \mu t \cdot \Sigma F_y &= -833.708\text{kg} \\
 \\
 &\text{Cumple con la condición } \Sigma F_x < \mu t \cdot \Sigma F_y
 \end{aligned}$$



Centro de gravedad

$$\begin{aligned}
 x_m &:= \frac{\Sigma(A_i \cdot x_i)}{\Sigma A_i} \\
 x1 &:= \frac{b1}{2} & A1 &:= h1 \cdot b1 \\
 x1 &= 0.8\text{m} & A1 &= 0.8\text{m}^2 \\
 x2 &:= \frac{b2}{2} + b1 - b2 & A2 &:= b2 \cdot h2 \\
 x2 &= 1.25\text{m} & A2 &= 0.35\text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$x_3 := \frac{b_3}{3} + b_1 - b_2 \quad A_3 := \frac{h_3 \cdot b_3}{2}$$

$$x_3 = 1.133\text{m} \quad A_3 = 0.245\text{m}^2$$

$$x_m := \frac{(x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + x_3 \cdot A_3)}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$x_m = 0.971\text{m}$$

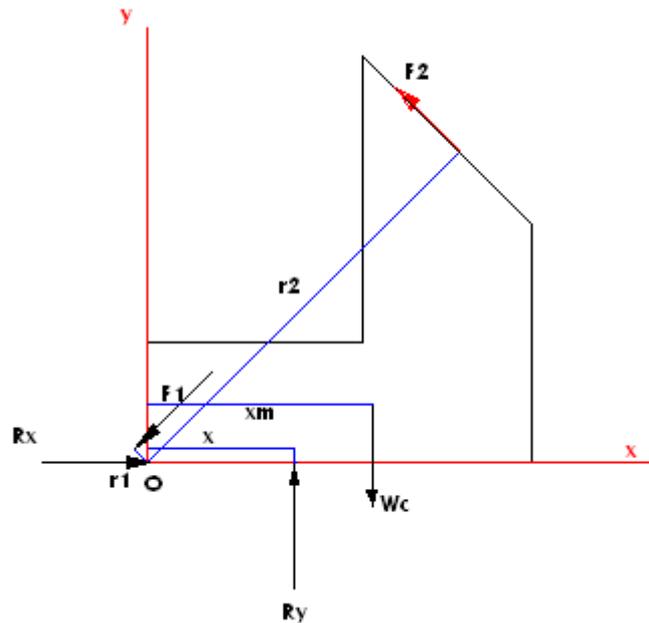
$$\Sigma M_o := 0 \quad r_1 := \frac{h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} - b_1 + \frac{b_3}{2}}{\sqrt{2}}$$

$$r_1 = 0.071\text{m}$$

$$r_2 := \frac{b_1 + h_1 + h_2}{\sqrt{2}}$$

$$r_2 = 1.838\text{m}$$

$$\Sigma M_o = 0$$



$$xR_y := W_c \cdot x_m - F_1 \cdot r_1 - F_2 \cdot r_2$$

$$xR_y = 3.044 \times 10^3 \text{ kg m}$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$F_2 \cdot \sin(\alpha) - F_1 \cdot \cos(\alpha) - W_c + R_y = 0$$

$$R_y := F_1 \cdot \cos(\alpha) + W_c - F_2 \cdot \sin(\alpha)$$

$$R_y = 4.169 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$x := \frac{xR_y}{R_y}$$

$$x = 0.73\text{m}$$

Cálculo del esfuerzo de compresión del suelo

$$A_{base} := b1 \cdot p1$$

$$A_{base} = 2.56 \text{m}^2$$

$$e_x := x - \frac{b1}{2}$$

$$e_x = -0.07 \text{m}$$

$$S_{basemin} := \frac{R_y}{A_{base}} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_x}{b1} \right)$$

$$S_{basemin} = 1.202 \times 10^3 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{basemax} := \frac{R_y}{A_{base}} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_x}{b1} \right)$$

$$S_{basemax} = 2.054 \times 10^3 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{sueloadm} := 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Sbase máximo es menor que el Ssuelo admisible, por lo tanto no se hunde.

Si la tubería se contrae:

Estabilidad del anclaje

$$\mu t := 0.2$$

$$\Sigma F_x < \mu t \cdot \Sigma F_y$$

$$\Sigma F_x := -F1 \cdot \sin(\alpha) + F2 \cdot \cos(\alpha)$$

$$\Sigma F_x = -266.589 \text{kg}$$

$$\Sigma F_y := -F1 \cdot \cos(\alpha) - F2 \cdot \sin(\alpha) - Wc$$

$$\Sigma F_y = -4.702 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\mu t \cdot \Sigma F_y = -940.343 \text{kg}$$

Cumple con la condición

Centro de gravedad

$$x_m := \frac{\sum(A_i \cdot x_i)}{\sum A_i}$$

$$x_1 := \frac{b_1}{2} \quad A_1 := h_1 \cdot b_1$$

$$x_1 = 0.8\text{m} \quad A_1 = 0.8\text{m}^2$$

$$x_2 := \frac{b_2}{2} + b_1 - b_2 \quad A_2 := b_2 \cdot h_2$$

$$x_2 = 1.25\text{m} \quad A_2 = 0.35\text{m}^2$$

$$x_3 := \frac{b_3}{3} + b_1 - b_2 \quad A_3 := \frac{h_3 \cdot b_3}{2}$$

$$x_3 = 1.133\text{m} \quad A_3 = 0.245\text{m}^2$$

$$x_m := \frac{(x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + x_3 \cdot A_3)}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$x_m = 0.971\text{m}$$

$$r_1 := \frac{h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} - b_1 + \frac{b_3}{2}}{\sqrt{2}}$$

$$r_1 = 0.071\text{m}$$

$$r_2 := \frac{b_1 + h_1 + h_2}{\sqrt{2}}$$

$$r_2 = 1.838\text{m}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$W_c \cdot x_m - F_1 \cdot r_1 - xR_y + F_2 \cdot r_2 = 0$$

$$xR_y := W_c \cdot x_m - F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2$$

$$xR_y = 4.43 \times 10^3 \text{ kg m}$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$-F_2 \cdot \sin(\alpha) - F_1 \cdot \cos(\alpha) - W_c + R_y = 0$$

$$R_y := F_1 \cdot \cos(\alpha) + W_c + F_2 \cdot \sin(\alpha)$$

$$R_y = 4.702 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$x := \frac{x R_y}{R_y}$$

$$x = 0.942 \text{ m}$$

Cálculo del esfuerzo de compresión del suelo

$$A_{\text{base}} := b_1 \cdot p_1$$

$$A_{\text{base}} = 2.56 \text{ m}^2$$

$$e_x := x - \frac{b_1}{2}$$

$$e_x = 0.142 \text{ m}$$

$$S_{\text{basemax}} := \frac{R_y}{A_{\text{base}}} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_x}{b_1} \right)$$

$$S_{\text{basemax}} = 2.817 \times 10^3 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{\text{basemin}} := \frac{R_y}{A_{\text{base}}} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_x}{b_1} \right)$$

$$S_{\text{basemin}} = 856.668 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{\text{sueloadm}} := 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Sbase mínimo es menor que el Ssuelo admisible, por lo tanto no se hunde.

Cálculo de los anclajes

Cálculo de la componente del peso de la tubería con agua, perpendicular a ella (Fa1)

$$L_{a1} := 3.5 \text{ m}$$

$$F_{a1} := (W_t + W_a) \cdot L_{a1} \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{a1} = 377.013 \text{ kg}$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$-F_2 \cdot \sin(\alpha) - F_1 \cdot \cos(\alpha) - W_c + R_y = 0$$

$$R_y := F_1 \cdot \cos(\alpha) + W_c + F_2 \cdot \sin(\alpha)$$

$$R_y = 4.702 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$x := \frac{x R_y}{R_y}$$

$$x = 0.942 \text{ m}$$

Cálculo del esfuerzo de compresión del suelo

$$A_{\text{base}} := b_1 \cdot p_1$$

$$A_{\text{base}} = 2.56 \text{ m}^2$$

$$e_x := x - \frac{b_1}{2}$$

$$e_x = 0.142 \text{ m}$$

$$S_{\text{basemax}} := \frac{R_y}{A_{\text{base}}} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_x}{b_1} \right)$$

$$S_{\text{basemax}} = 2.817 \times 10^3 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{\text{basemin}} := \frac{R_y}{A_{\text{base}}} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_x}{b_1} \right)$$

$$S_{\text{basemin}} = 856.668 \text{ kg m}^{-2}$$

$$S_{\text{sueloadm}} := 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Sbase mínimo es menor que el Ssuelo admisible, por lo tanto no se hunde.

Cálculo de los anclajes

Cálculo de la componente del peso de la tubería con agua, perpendicular a ella (Fa1)

$$L_{a1} := 3.5 \text{ m}$$

$$F_{a1} := (W_t + W_a) \cdot L_{a1} \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{a1} = 377.013 \text{ kg}$$

Cálculo de fuerza de cambios de dirección debido a la presión hidrostática (Fa3)

$$H := 20\text{m}$$

$$\beta := 0\text{deg}$$

$$t := 10.3\text{ lmm}$$

$$k := 1.6 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Fa3 := k \cdot H \cdot D^2 \cdot -\sin\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right)$$

$$Fa3 = 1.126 \times 10^3 \text{ kg}$$

Cálculo del peso de la tubería paralela a ella (Fa4)

$$L4 := 13\text{m}$$

$$Fa4 := Wt \cdot L4 \cdot \sin(\alpha)$$

$$Fa4 = 736.628\text{kg}$$

Fuerza por cambios de temperatura Fa5

$$Fa5 := 0\text{kg}$$

Fuerza de fricción en la junta de dilatación Fa6

$$k := 10 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

$$Fa6 := k \cdot D$$

$$Fa6 = 3.032 \times 10^3 \text{ kg}$$

Fuerza por la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión Fa7

$$k := 3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Fa7 := k \cdot H \cdot D \cdot t$$

$$Fa7 = 193.812\text{kg}$$

Fuerza debido al cambio de dirección de la cantidad de movimiento Fa8}

$$k := 250\text{kg} \cdot \frac{\text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

$$Fa8 := k \cdot \left(\frac{Q}{D}\right)^2 \cdot -\sin\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right)$$

$$Fa8 = 93.662\text{kg}$$

Fuerza debido al cambio de sección en la tubería Fa9

$$Fa9 := 0$$

No hay cambio de sección

Cálculo de estabilidad del anclaje

$$b1 := 0.8\text{m} \quad h1 := 0.4\text{m} \quad p := 1.4\text{m}$$

$$b2 := 2.5\text{m} \quad h2 := 0.9\text{m}$$

$$b3 := 0.8\text{m} \quad h3 := 0.8\text{m}$$

$$V1 := b1 \cdot h1 \cdot p$$

$$V1 = 0.448\text{m}^3$$

$$V2 := b2 \cdot h2 \cdot p$$

$$V2 = 3.15\text{m}^3$$

$$V3 := \frac{b3 \cdot h3}{2} \cdot p$$

$$V3 = 0.448\text{m}^3$$

$$W := (V1 + V2 + V3) \cdot \gamma_c$$

$$W = 9.306 \times 10^3 \text{ kg}$$

Centro de gravedad

$$x_m := \frac{\sum(A_i \cdot x_i)}{\sum A_i}$$

$$x1 := \frac{b1}{2} \quad A1 := h1 \cdot b1$$

$$x1 = 0.4\text{m} \quad A1 = 0.32\text{m}^2$$

$$x2 := \frac{b2}{2} \quad A2 := b2 \cdot h2$$

$$x2 = 1.25\text{m} \quad A2 = 2.25\text{m}^2$$

$$x3 := \frac{b3}{3} \quad A3 := \frac{h3 \cdot b3}{2}$$

$$x3 = 0.267\text{m} \quad A3 = 0.32\text{m}^2$$

$$x_m := \frac{(x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + x_3 \cdot A_3)}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$x_m = 1.047\text{m}$$

$$y_m := \frac{\sum(A_i \cdot y_i)}{\sum A_i}$$

$$y_1 := \frac{h_1}{2} \quad A_1 := h_1 \cdot b_1$$

$$y_1 = 0.2\text{m} \quad A_1 = 0.32\text{m}^2$$

$$y_2 := \frac{h_2}{2} + h_2 \quad A_2 := b_2 \cdot h_2$$

$$y_2 = 1.35\text{m} \quad A_2 = 2.25\text{m}^2$$

$$y_3 := \frac{h_3}{3} + h_1 + h_2 \quad A_3 := \frac{h_3 \cdot b_3}{2}$$

$$y_3 = 1.567\text{m} \quad A_3 = 0.32\text{m}^2$$

$$y_m := \frac{(y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2 + y_3 \cdot A_3)}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$y_m = 1.247\text{m}$$

Centro de gravedad: $x_m = 1.047\text{m}$ $y_m = 1.247\text{m}$

$$\Sigma F_x := -F_{a1} \cdot \sin(\alpha) - (F_{a3} + F_{a8}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) + (F_{a2} + F_{a4} + F_{a6} + F_{a7}) \cdot \cos(\alpha)$$

$$\Sigma F_x = 2.335 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\Sigma F_y := -F_{a1} \cdot \cos(\alpha) - (F_{a3} + F_{a8}) \cdot \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) - (F_{a2} + F_{a4} + F_{a6} + F_{a7}) \cdot \sin(\alpha) - W$$

$$\Sigma F_y = -1.377 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$-\mu_t \cdot \Sigma F_y = 2.753 \times 10^3 \text{ kg}$$

Cumple con $\Sigma F_x < \mu_t \cdot \Sigma F_y$

$$xRy := \Sigma Fx \cdot 0.9m + -\Sigma Fy \cdot 0.8m + W \cdot 1m$$

$$xRy = 2.242 \times 10^4 \text{ kg m}$$

$$Ry := -\Sigma Fy$$

$$Ry = 1.377 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$x := \frac{xRy}{Ry}$$

$$x = 1.629m$$

Cálculo del esfuerzo de compresión del suelo

$$Abase := (b2) \cdot p$$

$$Abase = 3.5m^2$$

$$ex := x - \frac{b2}{2}$$

$$ex = 0.379m$$

$$Sbasemax := \frac{Ry}{Abase} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{ex}{b2} \right)$$

$$Sbasemax = 0.751 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$Sbasemin := \frac{Ry}{Abase} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{ex}{b2} \right)$$

$$Sbasemin = 0.036 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$Ssueloadm := 1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Sbase máximo es menor que el Ssuelo admisible, por lo tanto no se hunde.

La tabla 3.9 indica los valores escogidos para los apoyos y anclajes calculados. (El diagrama de dimensionamiento se encuentra en el anexo XVI)

Tabla 3.9. Dimensiones escogidas para la los apoyos y anclajes de la tubería de presión.

Apoyo (forma L)	
Descripción	(m)
Base	1.60
Altura menor	0.5
Altura mayor	1.70
Profundidad	1.60
Anclaje (forma T acostada)	
Base	2.50
Altura mayor	2.10
Altura menor	0.90

3.7. Línea de transmisión

3.7.1. Descripción general.

Para centrar el tema, ubicaremos las líneas de transmisión (LT) y las redes de distribución (RD) de la Microcentral Hidráulica (MCH) en el esquema general de los sistemas eléctricos, el cual se presenta en la figura del anexo VI.

La línea de transmisión de la MCH, corresponde al subsistema de subtransmisión. Se inicia a la salida de la SE elevadora y se prolonga hasta la SE de llegada en el centro poblado o carga que se va a alimentar.

A la salida de esta SE, se inicia el sistema de distribución, el cual está formado por dos subsistemas: el subsistema de distribución primaria, que corresponde a las líneas de alimentación de las SE de distribución, y el subsistema de distribución secundaria conformado por las redes de alumbrado público y las de servicio particular, hasta el medidor de cada abonado.

3.7.2. Diseño de la línea de transmisión

a. Configuración del sistema eléctrico

Las líneas de transmisión generalmente son trifásicas de tres conductores y de una sola terna, aunque también pueden ser trifásicas de cuatro conductores, monofásicas de dos conductores o monofásicas con retorno por tierra (un conductor).

Forma de la línea

La forma más común es la radial, con carga concentrada, tal como se muestra en la figura anterior. La línea parte de la salida de la SE elevadora y se prolonga hasta la población o centro de carga, terminando en una o más SE de llegada.

Las líneas de transmisión monofásicas con retorno por tierra (MRT) han sido utilizadas exitosamente en sistemas rurales durante muchos años en Nueva Zelandia y Australia, y más recientemente, en América Latina.

Tal como se muestra en la figura 3.71 a continuación, se utiliza solamente un conductor, dado que el circuito monofásico se cierra a través del terreno. Por este motivo, su costo es reducido, lo que constituye su principal ventaja.

Sin embargo, este sistema requiere que la conexión a tierra sea adecuado (de baja resistencia) a fin de garantizar la calidad del suministro, así como seguridad de las personas y las instalaciones.

La conexión a tierra determina la máxima corriente permisible, por lo que sus aplicaciones se encuentran generalmente, limitadas a potencias reducidas.

El esquema mostrado en la figura del anexo VII, esquema (c), es apropiado para pequeñas potencias y requiere que la línea de transmisión sea alimentada desde una fuente con neutro a tierra. Este requerimiento no es necesario para el esquema (d) ya que se conecta a dos fases de la línea por medio de un transformador de aislamiento.

Este elemento incrementa los costos, pero permite utilizar mayor tensión, y por lo tanto, mayor potencia.

Trazado de la línea

Ubicados los puntos de partida y el punto de llegada, es necesario determinar el recorrido real que tendrá la línea, a fin de determinar con exactitud los principales parámetros de diseño, tales como la longitud, los cambios de dirección y los cambios de cotas, así como las condiciones climáticas a las que estará sometida en su recorrido.

Para realizar este trabajo se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

- Contar con la mayor información carta gráfica posible, tal como cartas nacionales, planos catastrales, a la menor escala posible.
- Elaborar un plano ubicando los datos relevantes obtenidos de la información

cartográfica, tales como accidentes geográficos, caminos, carreteras, líneas telefónicas, y otras líneas eléctricas, y ubicar la SE elevadora y el centro o centros de carga.

- Pre-seleccionar un trazo sobre el plano elaborado uniendo los puntos de partida y llegada con la línea más corta posible, tratando de evitar los accidentes geográficos de difícil paso o acceso y aprovechando las ventajas del terreno, así como caminos, linderos de propiedades,.
- Verificación del trazo, mediante un recorrido de campo en el cual se pueda determinar la posibilidad real de que la línea se construya por la ruta pre-seleccionada; asimismo, ver algunas alternativas de recorrido que no se hayan podido apreciar a nivel de planos y cartas.

Establecido el trazo definitivo, se efectúa el levantamiento topográfico de las rutas y se ubican y marcan en el terreno, con pinturas, estacas u otras señales permanentes los puntos principales de la línea, tales como cambios de dirección, puntos relevantes, así como una ubicación preliminar de los postes, para lo cual se considerarán vanos de 100 a 150 m.

- Elaboración de los planos, en planta y elevación, y obtención de los siguientes datos para el diseño: esquema eléctrico, potencias, longitud de la línea, estimación del número de postes y su ubicación, así como las características climáticas de la zona del recorrido de la línea.

Selección de la tensión de la línea

Las tensiones que se pueden seleccionar están establecidas en los códigos y reglamentos nacionales. Como referencia, en la tabla del anexo VIII se presentan las tensiones recomendadas por el Cenace y Transelectric.

Para los sistemas trifásicos de 3 hilos, la selección de la tensión sólo requiere escoger un valor de la tabla del anexo VIII. Como referencia, podemos señalar que para líneas de hasta de 15 Km. de longitud, se pueden emplear líneas trifásicas de 10 kV.

Los sistemas trifásicos de 4 hilos, 3 con tensión y uno neutro, con dos tensiones: una entre fases y otra entre fase y tierra, se emplean con líneas hasta de 15 Km. con

tensiones de 13,2/7,2 kV. Y con líneas de 30 a 50 km. con tensiones de 22,9/13,2 kV.

Se emplean también en distribución primaria, los sistemas monofásicos de dos conductores o de un conductor con retorno por tierra.

Regulación de la tensión

Es la variación o caída de tensión que se puede permitir a lo largo de la línea; está señalada por los códigos y la práctica de cada país. Como referencia, en la tabla del anexo No VIII se dan valores generalmente aceptados.

Para el caso de MCH, se recomienda considerar esta caída de tensión, desde la salida de la SE elevadora hasta el centro de carga. También se recomienda distribuir esta caída entre la línea de transmisión y la red primaria.

Aunque no se recomienda que la tensión de la línea primaria caiga fuera de los valores recomendados, si así sucediera y la variación fuera pequeña, se podría compensar actuando sobre los reguladores de tensión (TAPS) de los transformadores de distribución, los que están graduados en escalones típicamente de +5%, +2,5%, ó -2,5%, -5% del valor de la tensión nominal del transformador.

b.. Selección técnico-económica de los componentes de la LT

Todos los componentes a seleccionarse serán normalizados y sólo se tendrá en cuenta aquellos componentes que requieran de cálculos para su selección, tales como conductores, aisladores, postes y transformadores; no se consideran los accesorios, tales como ferretería eléctrica y mecánica.

Para la LT se tendrán en cuenta dos disposiciones: triangular y vertical; los armados asociados a ellas serán adaptaciones de diseños normalizados de la REA.

En las SE de distribución sólo se considerará la selección de los transformadores; no se incluyen los tableros de distribución, cuyos diseños dependen de cada caso específico.

En esta sección sólo se presenta la selección técnica; la selección económica deberá ser realizada por cada diseñador teniendo en cuenta los precios de los materiales, la mano de obra, vigentes en cada caso particular.

Selección de los conductores

Los conductores normalmente utilizados en redes de MCH y sus características específicas se presentan en la tabla del anexo IX.

La selección de los conductores se realiza teniendo en cuenta consideraciones eléctricas, tales como caída de tensión y capacidad de corriente; o características mecánicas de los conductores.

La consideración más importante es la caída de tensión; la pérdida de potencia es sólo referencial

Los cálculos mecánicos no se tratarán; sin embargo, de presentarse problemas, pueden resolverse modificando el vano entre postes, generalmente disminuyéndolo, y reubicando y aumentando el número de postes.

Cálculo del % de caída de tensión

Para realizar este cálculo se debe disponer de los siguientes datos:

- Potencia a transmitir, en kW.
- Longitud de la línea, en Km.

Se deben asumir:

- Factor de potencia. Algunas normas y la buena práctica recomiendan asumir $\cos \phi = 0.9$; de donde $\phi = 25.8^\circ$
- Tensión de la línea, de acuerdo a la tabla del anexo VIII.
- Sistema de la línea: trifásico o monofásico.
- Disposición de los conductores, triangular o vertical.
- Material y sección de los conductores.

- Temperatura máxima de operación de los conductores, que generalmente se asume como $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

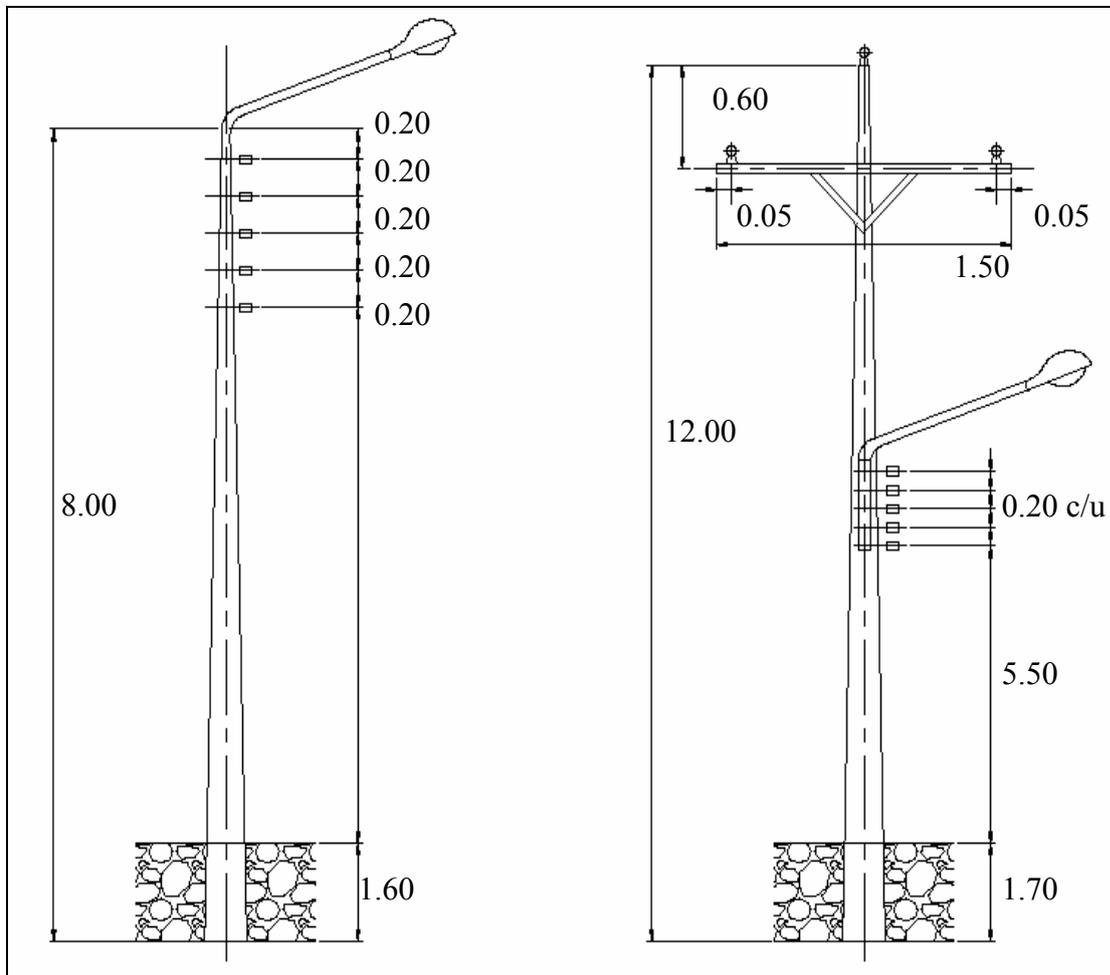


Fig. 3.55. Disposición de conductores

Se deben conocer:

- Resistencia del material del conductor, dato generalmente dado por el fabricante para una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Coeficiente de corrección por temperatura también suministrado por los fabricantes.

El cálculo del porcentaje de caída de tensión se realizará por el método del factor de caída de tensión (FCT), el cual se obtiene de tablas o se calcula para una situación específica; luego se aplica la siguiente expresión:

$$\Delta V\% = P \times L \times FCT \quad \text{Ec 3.52}$$

Donde:

$\Delta V\%$: Porcentaje de caída de tensión. **P**: Potencia en kW. **L**: Longitud de la línea, en m. **FCT**: Factor de caída de tensión.

El FCT se puede encontrar en la tabla del anexo VIII. Los valores de esta tabla se calcularon teniendo como base de datos las suposiciones presentadas al inicio de esta sección.

Para usar la tabla, se parte de la tensión de la línea. Para la disposición geométrica de los conductores analizados se selecciona un calibre de conductor, para el cual se encuentra el FCT en la columna de la tensión.

Se recomienda que siempre que se utilice un FCT proveniente de una tabla, se deben verificar las hipótesis que sirvieron para calcularlo; si estas hipótesis no se ajustan a la situación que se tiene, el FCT se debe calcular siguiendo la siguiente secuencia de cálculo.

Cálculo de la resistencia de la línea

$$R_t = R_o(1 + \alpha \times \Delta T) \quad \text{Ec 3.53}$$

R_t: resistencia a la temperatura de trabajo de la línea, **t_m**, en (Ω / km). **R_o**: resistencia a la temperatura de referencia, **t_o**; generalmente 20° C, dada por los fabricantes.

$$\Delta T = t_m - t_o \quad \text{Ec 3.54}$$

Donde:

t_m: temperatura de trabajo de la línea, establecida por normas o reglamentos, °C.
t_o: es la temperatura de referencia, generalmente en 20 °C. α : coeficiente de temperatura, 1/°C,

El valor del coeficiente de temperatura (α) se obtiene de la tabla 3.12.

Tabla 3.10. Factores de caída de tensión (FCT)

Tipo	Disposición geométrica	Sección del conductor (mm ²)	Tensión Nominal de la línea			
			6 kV	10 kV	15 kV	20 kV
TT		6	0.01004	0.003751		
		10	0.00644	0.002231		
		16	0.004256	0.001534		
		25	0.00291	0.001043		
TV		6				
		10				
		16				
		25				

Notas:

- Sólo se consideran conductores de cobre semi-duro con $\alpha = 0.00384^{\circ}\text{C}^{-1}$. Los conductores de cobre duro, producirán un menor FCT
- Las distancias L_1 y L_2 son los mínimos para el nivel de tensión considerado (Tabla 3.11)

Tabla 3.11. Distancias mínimas (en mm) por nivel de tensión

Tipo	Disposición Geométrica	Separación	Tensión Nominal de la línea			
			6 kV	10 kV	15 kV	20 kV
TT		(mm) L_1	1340	1340	2400	2400
		(mm) L_2	756	756	1250	1250
TV		(mm) L_1	1000	1000	2440	2440
		(mm) L_2	500	500	1220	1220
TH		(mm) L_1	2400	2400	2400	2400
		(mm) L_2	1200	1200	1200	1200

Tabla 3.12. Coeficientes de temperatura α

Coeficiente de temperatura α	
Material	α (1/°C)
Cobre duro	0,00382
Cobre semiduro	0,00384
Aleación de aluminio	0,00360

Cálculo de la reactancia (para 60 Hz)

Se determina con la siguiente expresión:

$$X = 377 \times \left(0.05 + 0.4605 \times \log \frac{DMG}{RMG} \times 10^{-3} \right) \quad \text{Ec 3.55}$$

Donde:

X: es la reactancia de la línea, en Ω/km . **DMG:** es la distancia media geométrica, mm.

$$DMG = \sqrt[3]{L_1 \times L_2 \times L_3} \quad \text{Ec 3.56}$$

Con **L₁**, **L₂** y **L₃**: separación entre los conductores en mm.

RMG: es el radio medio geométrico.

$$RMG = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.57}$$

S: área del conductor en mm²

Cálculo del ángulo ϕ

Se determina tomando los valores $\cos^{-1} \phi$ del factor de potencia considerado.

Cálculo del factor de caída de tensión (FCT)

Para calcular el factor de caída de tensión debido a la longitud de la línea se puede utilizar la expresión siguiente:

$$FCT = \frac{(R_l + X \times \tan \phi)}{10 \times U^2} \quad \text{Ec 3.58}$$

Donde:

FCT: es el factor de caída de tensión. **R_l** : es la resistencia de la línea, Ω / km . **X:** es la reactancia de la línea, Ω / km . **U:** es la tensión de la línea, en kV.

Selección del conductor

Si el $\Delta V\%$ calculado con el FCT es menor al máximo permitido (Tabla 3.22) se selecciona el conductor con el cual se ha determinado el FCT.

Selección de los aisladores

Los aisladores deben proporcionar un adecuado aislamiento eléctrico a los conductores con tensión; además, deben soportar los esfuerzos mecánicos que producen los conductores.

Tabla 3.13. Aisladores recomendados para ambientes con atmósfera limpia (Clases IEE-NEMA)

Nivel de tensión (kV)	Altura de instalación máxima (msnm) .	Aislador recomendado IEE-NEMA Clase:
10	0-3600	55 - 4
	3600-5000	55 - 5
13,2	0-2200	55 - 4
	2200-4700	55 - 5
29	0-2600	56 - 1
	2600-4200	56 - 2

El tipo de conductores y la distancia entre torres de transmisión, influyen en la carga que deben soportar los aisladores de anclaje de la línea, razón por la cual debe

contar con la resistencia mecánica necesaria para poder resistir esa carga.

La resistencia mecánica mínima de falla de los aisladores, según la clase IEE-NEMA se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3.14. Normas IEE-NEMA. Mínima carga mecánica de falla para aisladores

Clase IEE-NEMA	Mínima carga de falla (kg)
55.5	360
56.2	1360

Características generales

- Materiales. Los aisladores se fabrican de porcelana de color castaño vidriado, o de vidrio.
- Tipos. En LT y redes primarias se utilizan aisladores tipo espiga, llamados también tipo PIN y aisladores tipo suspensión.
- Normas técnicas. Los aisladores deberán cumplir con las normas técnicas de la IEE-NEMA según la clase a la que pertenezcan.
- Aplicaciones. Existen aisladores de diseño apropiado para ser usados en zonas sin contaminación, diferentes a aquellos diseñados para zonas de alta contaminación ambiental y para zonas costeras donde el medio ambiente tiene elementos de fuerte acción corrosiva.

Existen métodos de cálculo que permiten seleccionar eléctricamente a los aisladores. No obstante, esta selección también puede hacerse en forma práctica, para zonas rurales sin contaminación ambiental (atmósfera limpia) con ayuda de la tabla 8.7, teniendo como datos la tensión de la red y la altura sobre el nivel del mar de la zona por donde pasa la LT. Para zonas costeras de alta acción corrosiva del medio ambiente, se recomienda utilizar aisladores de suspensión tipo niebla o anticontaminación.

Selección de los postes

La selección de los postes debe garantizar que estos cumplan los siguientes requisitos: que tengan la altura adecuada para que las líneas aéreas queden a la altura

conveniente sobre el piso recomendada por las normas, y que tengan la adecuada resistencia mecánica para soportar los esfuerzos producidos sobre él por los conductores.

Selección de postes de madera

Los postes de madera se utilizan con la finalidad de disminuir los costos y emplear material y mano de obra local. Sin embargo, también se pueden adquirir postes de madera de procedencia exterior: de otros países de América Latina y especialmente de Estados Unidos.

Características

Señalamos a continuación algunas normas técnicas sobre las características de los postes de madera:

- Longitudes de los postes (m): 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14 y 15.
- Clase: La clase representa la carga de rotura del poste, expresada en kilogramos. Existen 9 clases que se designan con números del 1 al 9.
- Grupo: Representa el máximo esfuerzo de flexión del poste expresado en kilogramos. Existen 5 grupos que se designan con las letras A B, C, D y E.
- Diámetro en la punta: Expresado en mm, sirve para identificar la clase y grupo del poste.
- Diámetro en la sección de empotramiento: Expresado en mm., sirve para identificar la clase y grupo del poste. En la tabla del anexo X, se presentan las dimensiones normalizadas de postes:

Selección de transformadores de distribución

Los transformadores utilizados en distribución generalmente tienen las siguientes características:

- Son monofásicos o trifásicos.
- Son refrigerados por baño de aceite.
- Son construidos para montaje exterior.
- Se estandarizan a base de la potencia nominal, en kV A. En la tabla 3.25 se presenta

la potencia nominal recomendada por Normas Técnicas.

- La relación de transformación está normalizada.
- Generalmente se considera, en el lado de alta tensión, a las tensiones normalizadas para las líneas; en la baja tensión las de 440, 380, 220 o 110 V
- La relación de transformación es regulable, pues los transformadores tienen tomas o taps que permiten obtener las siguientes variaciones: +5%, +2,5%, o -2,5%, -5% de la tensión nominal.
- Los grupos de conexión comúnmente usados en transformadores trifásicos son el YDO y el YD5.

Tabla 3.15. Potencias nominales de transformadores

Transformadores Monofásicos kVA	Transformadores Trifásicos
15	50
25	75
37,5	100
50	160
75	250
100	315
	400
	500
	630
	800
	1000
	1600

Selección

Para la selección del transformador de una SE, se deben tener en cuenta las condiciones de la red en el punto en que el transformador se va a instalar:

- La potencia nominal
- La relación de transformación
- La forma del equipamiento
- Otras características: impedancia de corto circuito, forma de conexión, que son complementarias.

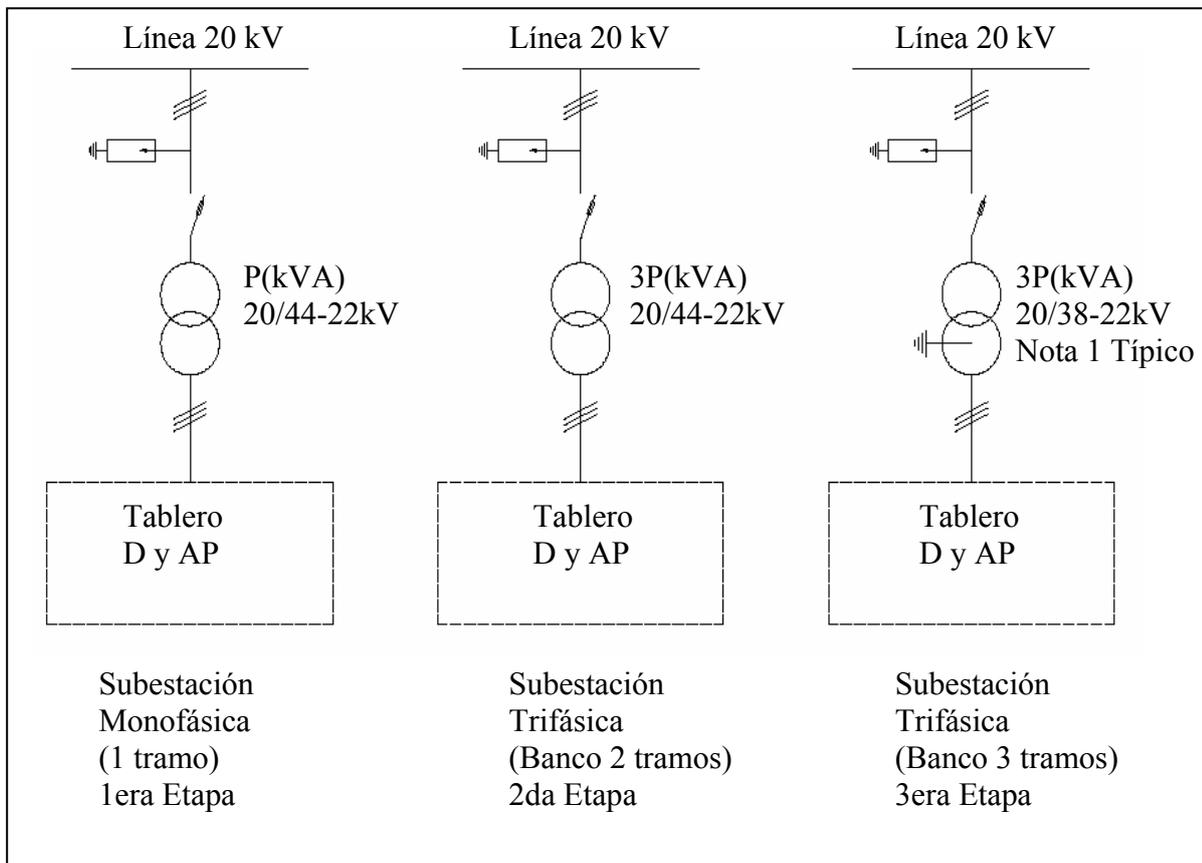


Fig. 3.56. Equipamiento por etapas de una subestación

La potencia nominal y la relación de transformación no requieren de mayor comentario. El equipamiento se puede realizar en tres etapas:

1. Un transformador monofásico.
2. Se adiciona otro transformador monofásico y se utiliza la forma de conexión Delta abierto.
3. Se concluye adicionando un tercer transformador completando el banco trifásico.

El equipamiento por etapas (fig. 3.56) es recomendable cuando se tienen poblaciones con baja densidad poblacional y se prevé que su crecimiento es a largo plazo. En localidades de alta densidad, puede ser preferible utilizar transformadores trifásicos desde el inicio.

3.8 Determinación de dimensiones de la casa de máquinas.

Las dimensiones de la casa de máquinas se determinan en función del tamaño de la turbina y el generador, que son los equipos albergados de más tamaño, pues el tablero de control y el tablero de herramientas, no tienen tamaños considerables, pues al ser una central aislada, el equipo necesario para el control de la generación y distribución no es muy complejo.

Además, la casa de máquinas debe contar con una infraestructura de salubridad básica para cubrir las necesidades del operador, por tal razón es necesaria la instalación de un baño que cuente con un inodoro y un lavamanos.

La estructura deberá estar formada por cimientos de hormigón, con tres vigas de cimentación en el contrapiso, de manera que el grupo quede anclado sólidamente en una sola base, evitando su desalineación y desbalanceo. Las paredes estarán formadas por cuatro columnas de soporte del techo, con paredes de bloque enlucido, una ventana y una puerta de aluminio, el techo estará formado por una loseta alivianada de 10 cm de espesor, para evitar la entrada de cosas y especialmente de animales que habitan en el lugar.

A continuación se detalla las dimensiones de la casa de máquinas:

Tabla 3.16 Dimensiones de la casa de máquinas

Descripción	Dimensión (m)
Frente	4
Altura	2,5
Profundidad	5
Espesor pared	0,15
Espesor Contrapiso	0,15
Losa cubierta	0,1
Vigas contrapiso	0,25*0,25
Columnas	0,20*0,20
Puerta de acceso	2,00*1,25
1 Ventana frontal	0,5*1,00
1 Ventana lateral	2,00*1,00
Baño	1,80*1,50
Puerta baño	2,00*0,85
armario de control	0,80*2,00*0,80
Armario de herramientas	1,00*2,00*0,5

Ver anexo XVII : Dimensión de casa de maquinas

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

La distribución de planta se la realizó en función del tamaño de la casa de máquinas, teniendo en cuenta tanto la comodidad del operador para el mantenimiento y la operación del grupo, así como el lugar de almacenamiento de herramientas y repuestos necesarios, tal como se muestra en el anexo XVII

CAPÍTULO IV

MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA

4.1 Montaje y puesta en servicio del grupo

4.1.1 Montaje.

Cuidados durante el transporte

- Evitar golpear la máquina o dejarla caer, lo que puede causar deterioro de los cojinetes o rotura de las escobillas, de los componentes electrónicos y de la estructura mecánica.
- Cubrir hasta impermeabilizar la máquina con mantas plásticas para protegerla de la lluvia y de la humedad y solicitar el embalaje con protección de madera.

Recepción del equipo

- Verificar que los elementos del generador tengan fácil acceso y que el equipo adicional se encuentre en buen estado. Anotar faltantes y deterioros para los reclamos respectivos
- Verificar la presencia de humedad, polvos y elementos extraños. Secar y limpiar.

Si el acoplamiento es por fajas se debe tener cuidado con el alineamiento de las poleas y dar el ajuste correcto para la transmisión de potencia. Si es por tren de engranajes igual.

La tolerancia de los extremos de eje para acoplamiento en los generadores se encuentra entre k6 y m6 de la norma ISO

Cable de tierra

Para la protección del personal, la estructura metálica del generador (masa) se conecta a la red de tierra para la cual está provisto de un terminal ubicado por lo general en uno de los soportes o partes. El cable debe tener una sección no menor a 4 AWG y debe ser de varios hilos trenzados y desnudos.

La red de tierra debe estar formada por una malla de conductor y /o electrodos de cobre desnudo de 2.5 m de longitud y 19 mm de diámetro. La cantidad y configuración de estos electrodos definen durante la elaboración del proyecto por personal calificado y es de suministro indispensable.

Espaciamiento del generador

La distancia mínima entre el extremo por donde se realiza la toma de aire de ventilación debe ser de 30 cm. Y las salidas de aire de 50 cm.

El requerimiento mínimo de aire para la ventilación es de 15 m³/kWh.

4.1.2 Puesta en servicio

Antes de lanzar la máquina:

- Verificar la presencia de humedad mediante la medición del aislamiento con un mego metro (Megger). Si hay presencia de humedad , secar según la norma.
- Verificar dando giros con la mano a la máquina que los entrehierros sea uniformes (entrehierro es la distancia con aire que separa el rotor del estator) en toda la circunferencia.
- Retirar todos los elementos extraños que se encuentren dentro de la máquina, cuidando de no dejar alguno entre las partes rotativas.
- Ver que las escobillas estén en la posición correcta alineadas con sus colectores, con la presión correspondiente tal que se puedan movilizar dentro de los porta carbones y que asienten sobre la superficie de contacto en el colector.

- Revisar que los empalmes y conexiones estén bien realizados y fuertemente ajustados.
- Observar el sentido de giro del generador según lo indicado por el fabricante. Si los alabes del ventilador del generador son rectos, este puede girar en cualquier sentido.
- Donde hay fusibles de protección, ellos deben estar colocados y en estado de conducción (no abiertos).
- La turbina debe estar en buen estado y operando normalmente

En accionamiento

- Cortar la excitación al generador, abriendo el seccionador de la excitación, si existe o retirar el fusible de protección del ABR y lanzar la máquina a velocidad nominal.
- Verificar durante la operación, la existencia de ruido extraño, rozamiento, ventilación, etc.
- Verificar el trabajo de los cojinetes, temperatura, etc.
- Conectar la excitación, reponiendo a su posición inicial los cortes realizados.
- A partir de este punto, tomar como referencia el protocolo de pruebas en fábrica y medir la tensión generada. Si no la hubiera, entonces magnetizar la máquina.
- Si existe tensión generada, verificar su valor y calibrar si es necesaria.
- Agregar carga en forma gradual hasta alcanzar la magnitud nominal, y luego de por lo menos de tres horas de operación en cojinetes, carcasa, aire de entrada y de salida, temperatura ambiente.
- Medir los parámetros de excitación del generador, y comparar con los valores del protocolo (si lo hubiese), en las condiciones siguientes:
Remanencia, con el generador remagnetizado y con la excitación cortada
Con cargas parciales y nominal, de preferencia anotado el factor de potencia de la carga de prueba.

4.2 Operación de la MCH y Herramientas

Es importante mencionar que una micro central para generación de energía eléctrica tendrá un régimen de funcionamiento distinto que una micro de generación motriz directo.

En el primer caso es deseable que funcione las 24 hrs. del día, mientras que en el segundo caso solo funcionará cuando exista demanda de uso de la máquina impulsada.

Por lo tanto el tiempo de parada es distinta, lo que se debe tener en cuenta al momento de programar una acción de MTTO que requiera hacerse con la micro-central fuera de servicio, por ejemplo, una reparación de canal o un cambio de rodamientos.

En términos generales, se puede concluir que, por MTTO la micro central debe paralizarse preferentemente de acuerdo a estos criterios:

Tabla 4.1. Períodos de parada de la central

EPOCAS	PARALIZAR DURANTE
DURANTE EL AÑO	MES DE ESTIAJE
DURANTE LA SEMANA	DIAS DE FIN DE SEMANA
DURANTE EL DIA	Horas nocturnas, de madrugada y/o de no demanda.

a. Libro de registro

El libro de registros es un documento que debe permanecer en la microcentral. En el se debe consignar las ocurrencias diarias como por ejemplo:

- ¡Que ocurrió?
- ¡A que hora?
- ¡Que acciones se tomó?
- ¡Quienes participaron?
- ¡Que materiales y repuestos utilizaron?
- ¡Cuando se debe realizar el siguiente MTTO de cierta actividad?

Esta información tiene importancia al momento de evaluar la ocurrencia de una falla para la toma de una decisión correctiva, y forma parte de la historia de funcionamiento de la micro-central.

Así mismo, en el libro de registro deben figurar las horas de funcionamiento diario; la lectura del contador de energía (kWh) debe servir como criterio para la evaluación del factor de carga

b. Manuales, documentos del fabricante y del instalador

Es importante que el contratista entregue un manual que describa las acciones de operación y MTTO de la micro-central; debe consignar una propuesta de periodicidad de las acciones de MTTO sobre las bases de sugerencias del fabricante de los equipos.

En lo posible debe haber manuales de cada equipo individual como textos de consulta para solucionar algunas dudas, sobre las consideraciones generales de funcionamiento del equipo cuando ocurra alguna falla o se requiera una reparación. Estos documentos deben permanecer en la micro-central.

c. Herramientas para Mantenimiento (MTTO)

Tabla 4.2. Repuestos y herramientas mínimas necesarias para el trabajo de mantenimiento.

REPUESTOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA EL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL MANTENIMIENTO
Rodamientos para turbinas	Tornillo de banco
Rodamientos para generador	Destornilladores, plano y estrella
Sellos y empaquetaduras de la turbina	Alicate para mecánico
Empaquetaduras planas (válvulas)	Alicate de eléctrico
Empaquetadura cuadrada (prensa estopa de válvula)	Martillo de mecánico
Fajas planas o en V	Juego de llave de boca
Grasa o aceite lubricante	Un extractor de rodamientos
Aceite para sistemas hidráulicos (gobernador)	Grasera o aceite
Juego de escobillas o carbones	Juego de llaves hexagonales
Juego de diodos rectificadores (generador)	Arco de sierra
Regulador automático de tensión (AVR)	Un rastrillo para limpieza de las rejillas
Fusibles de instrumentos (tablero)	Una palana
Fusibles de potencia	Una escalera
Fusibles de mando	Un probador de tensión (en alta y baja)
Fusibles de seccionadores en alta tensión	Un machete
Fusibles de seguridad (regulador de carga)	Lata plana para lavado en kerosén
Kerosén para limpieza de piezas	Una linterna de mano
Trapos limpios	Uno o dos impermeables de lluvia y pares de bota

4.2.1 Capacitación al personal

Es conveniente adiestrar una o dos personas para la operación de la planta. Esta labor debe estar a cargo del contratista quien conjuntamente con los propietarios, debe seleccionar a las personas idóneas para el cargo y , en forma práctica, enseñarles el funcionamiento de los equipos, los nombres de las partes, el modo de operación de los equipos y como llevar a cabo acciones de mantenimiento.

Lamentablemente la capacitación no es una actividad que se tenga muy en cuenta como lo demuestra que, en la mayoría de los casos, en los presupuestos de costos de la microcentral no existen partidas para tal concepto.

De otro lado es común que el operador sea una persona que, habiendo participado en las construcciones de las obras, durante su trabajo ha mostrado disciplina y voluntad. Ello, sumado a un par de explicaciones lo convierte en operador. No necesariamente esta es la peor forma de seleccionar; sin embargo se debe poner mayor cuidado en la selección, y tener en cuenta que el cargo de operador requiere de las personas, lo siguiente:

- Debe leer y escribir
- Habilidades manuales para el manejo de herramientas
- Capacidad de retención para memorizar secuencias.
- Iniciativa de solución de problemas
- Capacidad de deducción para distinguir causa y efecto
- Alto sentido de responsabilidad.
- Gozar del respeto comunal

Ahora bien, las funciones del cargo deben especificarse claramente. En la generalidad de los casos estas funciones implican:

- Poner en marcha la turbina bajo condiciones normales
- Parar la turbina bajo condiciones normales
- Súper vigilar el funcionamiento del grupo generador

- Llenar el registro diario de funcionamiento y ocurrencias
- Realizar maniobras para el reparto de energía eléctrica y en caso de que la turbina esté acoplada a una máquina; maniobrar sobre la turbina de acuerdo a los requerimientos de potencia de la máquina acoplada o movida .
- Paralizar la turbina en caso de anomalías, detectar la causa y proceder a eliminarla, cuando se trate de ocurrencias menores
- Conocer el funcionamiento de los sistemas de protección y normalizar la turbina (desbloquearla) después de actuar.
- Llevar a cabo acciones de MTTO periódicas y programar en el tiempo su repetición.
- Realizar las maniobras para un adecuado llenado de la tubería forzada.
- Saber regular la cantidad de agua necesaria en la bocatoma y en la cámara de carga.
- Realizar inspecciones en los diferentes componentes de la microcentral para la detección de fallas o posible ocurrencia de falla.
- Realizar instalaciones y reparaciones eléctricas menores, en tomas de corriente eléctrica, fusibles, focos e interruptores.
- En caso de accidentes, saber proporcionar primeros auxilios.

4.3 Mantenimiento en micro-centrales hidroeléctricas

4.3.1 MTTO en la obra civil

La implementación de una micro-central hidroeléctrica (MCH) requiere de la inversión de un gran capital. A fin de recuperar esta inversión en el plazo previsto en el análisis económico de rentabilidad, la central debe funcionar todo el tiempo para el que fue diseñado que por lo general son 8760 Horas / año.

A ello habría que restar el tiempo programado de paradas por diversos motivos.

Esto es posible con una adecuada operación del sistema y un programa de MTTO bien planificado que efectivamente sea llevado a la práctica.

a. Acciones de MTTO en bocatomas.

La existencia de rajaduras o filtraciones en la presa se puede observar mejor en época de estiaje. Durante esta temporada se deben realizar los trabajos de **Resane**; si ello no fuera posible, su puede impermeabilizar temporalmente las filtraciones con sacos de arena.

Los trabajos de Resane deberán hacer poniendo morteros de concreto de acuerdo a las indicaciones siguientes:

Tabla 4.3. Recomendaciones para el Resane

Para:	Cemento	Arena	Otros materiales
Reparación de fugas de agua debido a rajaduras en paredes de canales , presas ,etc	Una parte	Dos a tres partes	5% de cemento blanco, para fraguado rápido
Resane de superficies que estén en contacto permanente con agua en canales, bocatoma, cámara de carga, desarenador, etc	Una parte	Tres partes de arena tamizada	Ninguno
Superficies externas que no estén en contacto con el agua, dependiendo del grado de resistencia requerido.	Una parte	*Cuatro partes *Cinco partes *Seis partes	Ninguno
Superficies que estén en contacto con agua.	Una parte	Una y media partes	
Trabajos de recomposición estructural.	Una parte	Dos partes	Cuatro partes de fierro de construcción

La ventana de captación es el punto donde el agua deja el río para irse por el canal. Es necesario inspeccionar esta ventana diariamente en época de avenida; es probable que algunas materiales flotantes queden atrapados en las rejas y bloqueen el paso del agua.

Algunas ventanas están provistas de paredes que limitan el flujo de agua en avenidas. Otras ventanas están provistas de compuertas de desfogue o limpieza que cumplen el mismo trabajo; si así fuera recomendable mantenerla totalmente abierta para prevenir excesos de agua en el canal, que podrían ser causas de rebalses a lo largo del canal y a su vez provocar derrumbes.

Los desfogues y rebosadores que pudieran formar parte de la bocatoma deben ser inspeccionados periódicamente para detectar daños que podrían ocurrir con el tiempo, como rajaduras o deslizamientos de la cimentación, que deben ser reparados prontamente, pues los daños podrían extenderse y ser causa de costosas reparaciones.

b. Acciones de MTTO en Canales

La mayoría de las MCHs tienen alguna forma de canal para llevar el agua de la bocatoma a la cámara de carga. Existen muchos tipos de canales; los más usados son los de tierra, empedrados y de concreto ; en algunos casos es posible encontrar una combinación de los tres.

Una de las consideraciones importantes que se deben tener en cuenta es la velocidad con la que el agua circula. En un canal de tierra la velocidad de desplazamiento del agua debe ser menor que el canal revestido.

Si en alguno de estos canales el agua se trasladada a una velocidad mayor que la velocidad designada, el canal podría erosionarse, y si el agua se traslada a una velocidad menor el canal tiende a sedimentar los sólidos suspendidos en el agua.

Por tanto es conveniente intentar mantener la velocidad entre los límites designados. Esta consideración debe tomarse en cuenta cuando se reparan canales sin revestimiento (tabla 4.3).

El canal debe ser inspeccionado periódicamente, cuidado remover las piedras, vegetación y sedimentos. Las acciones de MTTO en el canal deben estar orientadas a prevenir fugas y repararlas tan pronto como ellas aparezcan.

Los acueductos, también llamados canoas, deben ser inspeccionados en sus soportes y su estructura en general, cualquiera que sea el material que estén fabricados

Tabla 4.4. Velocidad máxima permisible en canales de tierra

Tipo de suelo	Velocidad en m/s
*Arena fina	0,3 - 0,4
*Arena mas arcilla	0,4 - 0,6
*Arcilla	0,6 - 0,8
*Arcilla compacta	0,8 - 2,0

c. Acciones de MTTO en desarenadores

El desarenador es una parte importante de una MCH, pues determina el deterioro por erosión del rodete de la turbina. Más aún en las turbinas de admisión total en las que el agua se acelera en el interior del rodete, como las turbinas Francis.

En el desarenador la velocidad del agua es disminuida, permitiendo que las partículas en suspensión caigan a la base del desarenador.

Los sedimentos recolectados deben ser expulsados con una periodicidad que depende de cada caso mediante la apertura de la compuerta de purga; de lo contrario se seguirán acumulando hasta que algún exceso pase a la turbina. Durante la temporada de lluvia la frecuencia de vaciado del desarenador deberá ser mayor.

Aparte de la limpieza de sedimentos el desarenador requiere poco MTTO, como la ocasional reparación de la mampostería que podría ejecutarse durante los periodos secos del año. Las guías y accesos de ríos de la compuerta de purga podrían requerir lubricación cada cierto tiempo, dependiendo de su diseño.

d. Acciones de MTTO en Cámaras de carga

La cámara de carga es el punto donde se conecta la tubería forzada al canal de conducción. En algunas MCHs junto a la cámara de carga hay un desarenador. La cámara de carga está compuesta por una rejilla, un rebosadero y, en ocasiones, una válvula para controlar el paso de agua a la turbina.

La rejilla requiere limpieza. La frecuencia de esta acción dependerá de la cantidad de materiales flotantes que el agua traiga consigo. Es importante que el único elemento que pase a la turbina sea el agua, cualquier objeto, dependiendo de su dimensión, podría causar la disminución de la potencia al quedarse atorado en un intersticio de las turbina.

Los desfogues y rebosaderos que forman parte de la cámara de carga también deben ser inspeccionados en sus soportes y estructura para detectar daños que podrían ocurrir con el tiempo, como es el caso de la rajaduras o deslizamientos de las sedimentación.

Algunas MCHs están provistas de un gran reservorio para el almacenamiento del agua, la tubería es conectada a este reservorio y la turbina puede ser operada por unas horas a su más alta potencia. Este reservorio también actúa como un gran desarenador, por lo que es necesario limpiar los sedimentos cada cierto tiempo. Generalmente hay unas rejillas antes del reservorio, pero necesitan mayor limpieza que aquellas ubicadas en la cámara de carga.

e. Acciones de MTTO en tuberías

La tubería forzada lleva el agua de la cámara de carga a la turbina .En MCHs antiguas es común ver tuberías de planchas de acero remachadas o soldadas ; en las mas recientes se viene empleando el PVC .

Las tuberías de acero requieren poco mantenimiento , aunque algunas veces las uniones de los tubos pueden gotear . Cuando se trate de uniones espiga-campana estos pueden solucionarse rápidamente con soldadura de plomo ; en el caso de bridas empernadas , bastará con ajustar los pernos y, si persistiera la fuga , abra que revisar el estado de la empaquetadura . Igual tensión merecen las juntas de dilatación .

Un problema común en las tuberías de acero es la corrosión , que se puede presentar en forma generalizada o localizada . En ambos casos es conveniente una minuciosa limpieza de la superficie con cepillos de acero , solventes químicos o

arenado. La aplicación inmediata de una capa de pintura anticorrosiva sobre el metal puede ayudar a extender tiempo de vida de la tubería ; se recomienda esta aplicación con alguna periodicidad .

En tuberías viejas es recomendable retirar las formaciones calcáreas de el interior de las tubos debido a que se puede reducir el espesor de esta tubería.

Las tuberías de material PVC no deben ser expuestas a los rayos solares. Es recomendable que estas tuberías se instalen en zanjas y sean totalmente cubiertas con tierra, lo que también las protege de ocasionales golpes que podrían fracturarla con relativa facilidad .

Es sumamente importante inspeccionar el estado de los anclajes y soportes , considerando la presencia de drenajes laterales para conducir el agua de lluvia que de otro modo podrían socavar el terreno provocando estabilidad y, en casos extremos deformación y asta rotura de la turbia .

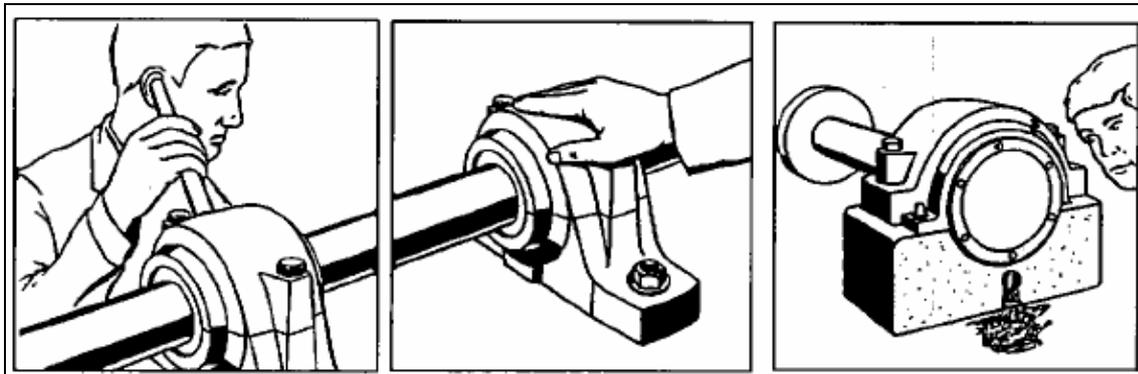


Fig. 4.1 Inspección de rodamientos

f. Acciones de mantenimiento en válvulas

Las válvulas son instaladas al final de la tubería en la mayoría de casos en la casa de máquinas . Las válvulas tienden a tener fugas de agua por la prensaestopas; lo cual no es mayor problema porque bastará ajustar el sello o cambiar la empaquetadura del mismo. Este ajuste del sello se debe realizar hasta que el agua deje de salir.

Estas válvulas están diseñadas para trabajar en una determinada posición, es decir abierta o cerrada, nunca en una posición intermedia debido al desgaste prematuro del elemento obturador y las fuertes pérdidas de carga que producen en esta posición.

Si la válvula no tiene cierre hermético es debido a los asientos del obturador y el asiento se han desgastado (erosionado) por lo que habrá que desmontar para que en el taller se proceda a realizar la recuperación de forma mediante soldadura de relleno y torneado correspondiente.

g. Acciones de mantenimiento en acoplamiento, rodamientos y fajas

Los acoplamientos están conformados por ejes, poleas, fajas y rodamientos. Este tipo de acoplamiento conocido como indirecto requiere ser inspeccionado con frecuencia con el fin de detectar vibraciones por causa de deza lineamientos, tensiones excesivas de fajas y pernos de sujeción del templador.

El tensado de fajas debe verificarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, el que recomienda una máxima flecha de deformación al ser aplicada una fuerza determinada que a su vez depende del tipo de faja.

En algunos casos el alternador está acoplado directamente a la tribuna, por lo que se le conoce con el nombre de acoplamiento directo. Este tipo de acoplamiento requiere muy poca tensión, sin embargo es conveniente la realización de inspecciones periódicas con el fin de realizar el ajuste de los pernos de acople y el estado de los elementos flexibles que generalmente son de cuero o jebe.

Existen dos tipos de rodamientos, los antideslizantes y los de la rodadura. Los primeros se pueden observar con frecuencia y maquinas antiguas, y están conformados por una pista de material antideslizante (conocido como babbit) en la que jira el propio eje; estos trabajan en baños de aceite y los de grandes dimensiones están provistos de sistemas de refrigeración y lubricación forzada.

Los rodamientos antideslizantes requieren ser inspeccionados con cierta frecuencia, verificando que el área de asentamiento en la pista sea la mayor posible. La holgura entre el eje y la pista se calcula de la siguiente forma:

$$H = \frac{d \times 1,12}{1000} \quad \text{Ec 4.1}$$

En donde:

H: Holgura en mm. **d:** Diámetro del eje en mm

Se debe revisar el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración también. La temperatura de funcionamiento de estos rodamiento no debe exceder los 55 grados C en condiciones normales de funcionamiento, debido al bajo punto de fusión del metal antifricción; si hubiera un sistema de protección por sobre-temperatura se recomienda graduar la alarma entre 55 grados C y 60 grados C, y la desconexión a los 65 grados C.

Por rodadura: requiere poca atención: periódicamente habrá que realizar un engrase y proceder a su recambio cuando haya completado el número de horas de trabajo que el fabricante del equipo especifique.

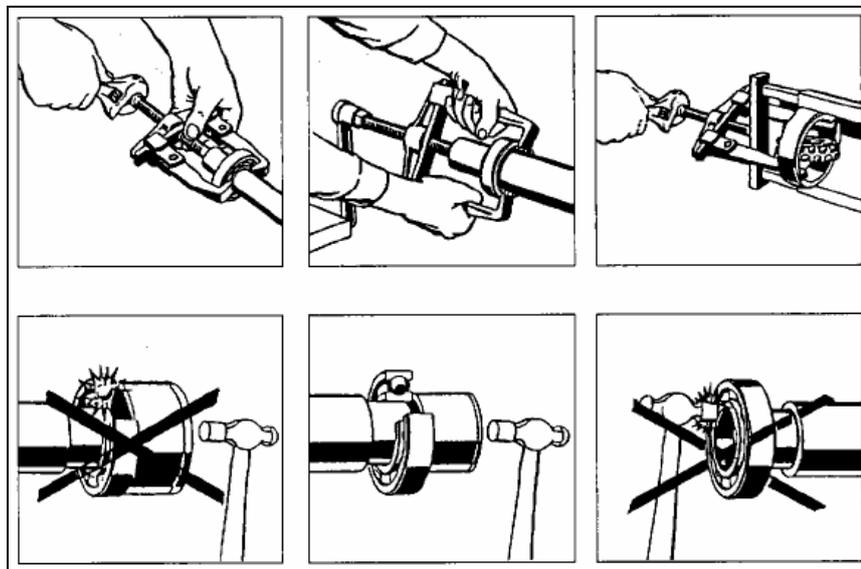


Fig. 4.2 Cambio de rodamientos

Para el cambio de rodamientos hay que usar preferentemente un extractor de rodamientos y tener las máximas precauciones tanto en la manipulación del rodamiento

como en su montaje. Cada cierto tiempo habrá que realizar el cambio de grasa, la cantidad de grasa es importante por que un exceso puede ser causa de posteriores calentamientos.

G : grasa necesaria (gr). **D** : diámetro exterior del rodamiento (mm). **B** : Ancho de rodamiento (mm)

$$G = 0,005 \times D \times B$$

Ec 4.2

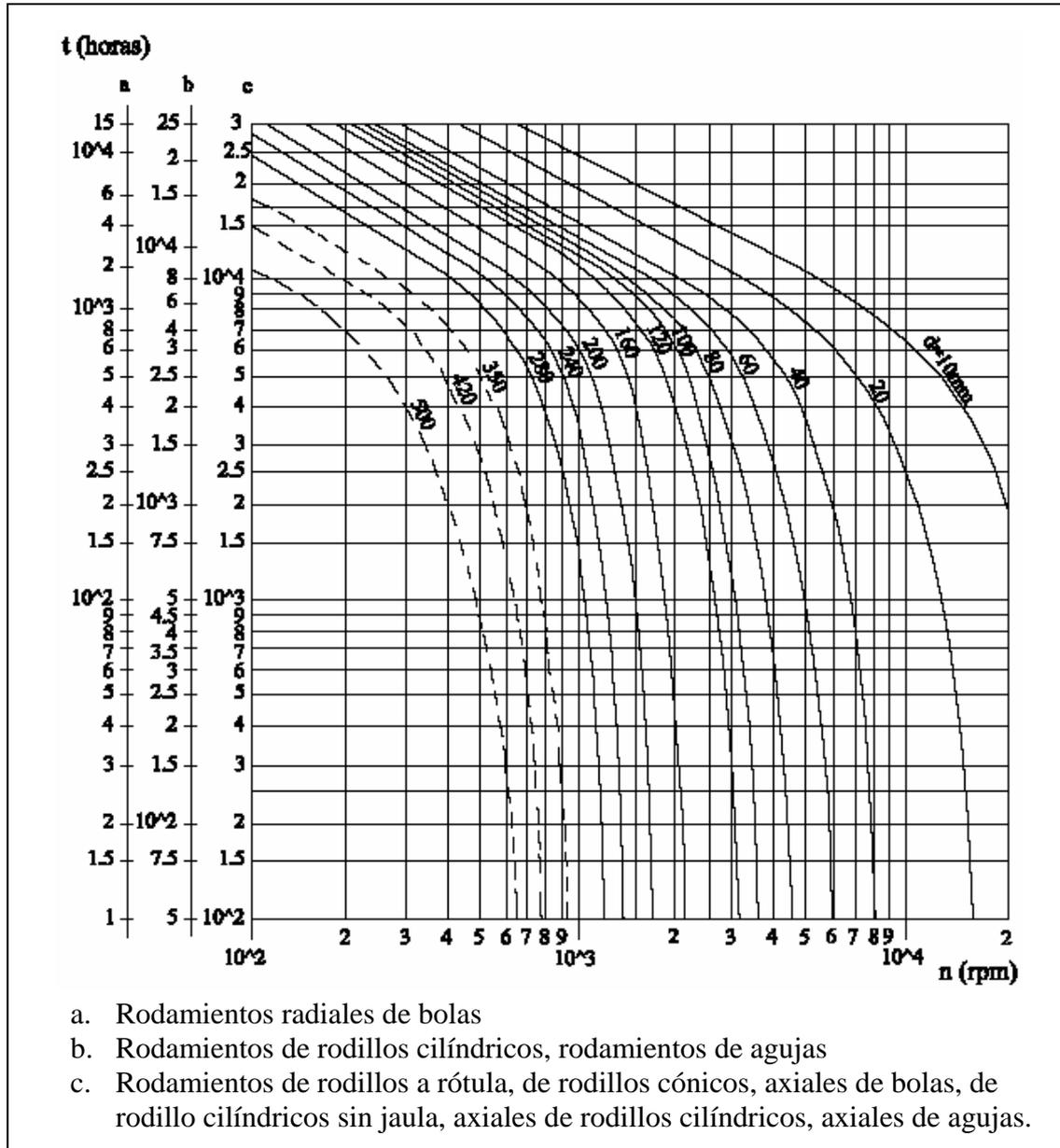


Fig. 4.3 Gráficas del tiempo de lubricación para rodamientos.

El tiempo que un rodamiento engrasado funciona satisfactoriamente sin reengrase, depende del tipo de rodamiento, tamaño, velocidad y temperatura de funcionamiento del ambiente y tipo de grasa.

4.3.2 Mantenimiento Eléctrico

a. Ajuste de conexiones

- Revisar el estado de los empalmes, las conexiones y los terminales. Ajustar donde sea necesario
- Limpiar los contactos sulfatados y reemplazar los que están muy deteriorados
- Verificar el área de contacto de resistencias variables. Limpiar o cambiar la resistencia si está cortocircuitada o seccionada.

b. Escobillas

- Revisar el estado de los carbones, longitud, superficie de contacto con el colector. Libre movimiento de los porta-carbones y alineamiento con el colector.
- Revisar el estado del colector. Rectificar si se encuentran agrietado, rayado, surcado.
- Contenido de humedad
- Retirar elementos electrónicos, tal como diodos, AVR, etc.
- Aplicar el Megger. entre terminales de bobinas del estator y rotor a masa. El valor mínimo de lectura aceptable debe ser : $M\Omega = (V. \text{Nominal}/1000) + 1$. Si el valor es menor; proceder al secado

c. Limpieza

- Retirar protecciones, dispositivo de regulación y elementos electrónicos.
- Desatar uniones y empalmes, teniendo cuidado de marcar la ubicación y conexión de estos mismos.
- Sopletear con aire comprimido seco o a presión no mayor de 200 Kpa. (30 Psi), las áreas cubiertas con polvo, suciedad, etc.

- Sopletear con diluyentes de uso dieléctrico (no usar thinner o gasolina que deteriora los barnices aislantes y son inflamables) y usar cepillo para remover grasa o aceite y escorias fuertemente adheridas a las superficies de la máquina.

d. Secado o Estufado

Para el secado, el generador debe estar preparado como para limpieza o ya limpio según los siguientes métodos

e. Lámparas incandescentes.

Cubrir el generador con una manta dejando un agujero de 20 cm de diámetro, colocar 4 lámparas incandescentes o resistencias calefactores de 100 W como mínimo alrededor del generador, y conectarlas a una fuente de potencia o a una fuente de poder

Dejar 4 horas calentando la máquina y controlar que no exceda los 80° C. Verificar el nivel de aislamiento (mega). Realizar lecturas espaciadas hasta conseguir como mínimo 5MΩ.

f. Horno.

Calentar el horno a una temperatura no mayor a 80° C y colocar la máquina adentro.

Estufar la máquina hasta conseguir un mínimo de 10MΩ. 20MΩ es un buen valor promedio obtenible con este método. El tiempo de secado es variable y depende de la potencia calefactora y el peso de la máquina.

Si una o más bobinas no han recuperado el nivel mínimo de aislamiento (dado por la Ec. 4.2 quiere decir que existe daño irreversible y que será necesario rebobinar).

Después del estufado, proceder a armar el equipo y hacer girar al generador al menos una hora excitado, con la tensión de vacío y sin carga

g. Rebobinado

Cuando se ha perdido nivel de aislamiento y es irrecuperable, o si se ha producido cortacircuitos entre espiras, o se nota recalentamiento de los bobinados, se debe rebobinar cuidando que se haga con la misma sección de conductor, el mismo número de espiras y conexiones y utilizando aislamientos de la misma o mayor clase térmica original.

h. Remagnetizado

El generador pierde magnetismo remanente cuando, no se opera por mucho tiempo, se ha desarmado la máquina, ha sido sometida a fuertes golpes o ha sufrido un corto circuito.

El procedimiento es:

- Desconectar las conexiones de alimentación o censado y de entrega de corriente de excitación del sistema de regulación (reóstatos, AVR).
- Conectar el borne “+” de una batería de 12 V al terminal “+” del campo excitatriz o campo principal si no tiene excitatriz.
- Hacer girar la máquina a velocidad nominal y pasar rápidamente (flashing) el borne “-” de la batería por el terminal “-” del campo excitatriz o campo principal.

Reconectar nuevamente el sistema de regulación cuidando la polaridad. La máquina estará en condiciones de auto excitarse y realizar el cebado nuevamente.

i. Mantenimiento Electrónico

Los dispositivos electrónicos teóricamente tienen una vida indefinida, sin embargo, las fallas pueden presentarse en el mismo instante de iniciar su operación. Estadísticamente, un periodo prudencial de espera de resultados es hasta 30 días.

Los enemigos de la parte electrónica son:

- La vibración, que descalibran las regulaciones, rompe los puntos de contacto y de soldadura.

- Las sobre tensiones, que fatigan o deterioran a los elementos de menores tensiones de operación o a los que están sujetos a estos.
- La contaminación con polvo, humedad, salinidad, hongos o agentes químicos.

El Mantenimiento recomendado es:

- Limpieza con trapo seco de la superficie y elementos.
- Limpieza y de sulfatado de las conexiones.
- Recalibrado de potenciómetros
- Cambio de fusibles abiertos o que hacen falso contacto, por un nuevo de la misma corriente y tensión nominal.
- Recubrir los paneles impresos con barnices de manera que se impermeabilice de la humedad y otros agentes.
- Respecto a los rectificadores con el multímetro ($\sim V=0$), verificar el estado de conducción. Si se mide resistencia invirtiendo la polaridad de las puntas de prueba del $V_{ac}=0$, las lecturas deben ser diferentes para cuando un diodo está en buen estado; en caso contrario (ambos en cero o infinito), el diodo está in-operativo.
- Toda revisión o cambio de componentes debe ser realizado por personal calificado
- No conectar el megó metro a ningún dispositivo electrónico.

4.4 Análisis de causas y soluciones de las fallas que se presentan en grupos para micro-centrales hidroeléctricas

En las siguientes tablas se realiza un análisis completo específico tomando en cuenta sus respectivas motivos y soluciones posibles.

Así se presenta la tabla para fallas en los siguientes miembros del grupo hidráulico:

- Turbinas
- Cojinetes
- generador

Nota:

Se adjunta un programa de MTTO de la micro-central hidroeléctrica en el anexo XVIII.

Tabla 4.5. Fallas, motivos y soluciones en turbinas, cojinetes y generadores

Mantenimiento del grupo			
TURBINAS KAPLAN: TK			
FALLAS		MOTIVOS	SOLUCIONES
01	Defectos de estanqueidad	Introducción de aguas en las ruedas del núcleo de las palas	Intervención por parte del constructor
02	Corrosión y cavitación de la rueda y su envolvente	Uso luego del primer año de servicio	Observación luego de este tiempo
03	Frotamiento de la rueda contra la cámara y disminución de la potencia	Desgaste de los cojinetes	Control del nivel de aceite y temperatura del mismo cojinete
04	Perturbaciones en la regulación de la velocidad	Oscilaciones en el varillaje de regulación	Evacuar el aire que se halla acumulado en el punto mas elevado de la caperuza por la que se introduce el aceite
TURBINAS FRANCIS: TF			
FALLAS		MOTIVOS	SOLUCIONES
01	Perdida de potencia	Intersticio erosionado por el agua, existiendo un juego inadecuado entre el rodete y el distribuidor.	Recargar el rodete por soldadura y luego torneándola hasta obtener el día. primitivo
02	Vibración	Recalentamiento del soporte y desplazamiento eventual de la rueda motriz	Comprobación de la dilatación longitudinal del eje
		Desacoplamiento del generador	Revisar el día del MTTO
		Desaficacia del dispositivo de entrada de aire en el tubo de aspiración	
		Rueda descentrada en le distribuidor	Taladrar agujeros que permitan comprobar la medida del intersticio sobre dos diámetros perpendiculares

TURBINAS PELTON: TP			
FALLAS	MOTIVOS	SOLUCIONES	
01	Pérdida de potencia y bajo rendimiento	Acción abrasiva de la arena, existiendo: Desgaste en el punzón (aguja), desgaste en la boca de la tobera, en los ángulos diedros de las palas y en el deflector	Devolver estas partes a su estado primitivo
		Canal de descarga esté inundado	Revisar y limpiar
02	Ruidos y mal funcionamiento	Cuerpos extraños que se empotran ante la cruceta de guía de la aguja	Se dota a los tubos de conducción de agua de agujeros de inspección visual
03	Turbina arranca pero no incrementa su velocidad	Insuficiente agua en la cámara y cae la altura de presión	Revisar la alimentación
		El regulador no funciona	Técnico especialista
		El medidor de revoluciones está malogrado	Verificar con el frecuencímetro
04	Turbina gira pero pierde velocidad cuando se conecta la carga	Insuficiente agua	Verificar la alimentación
		Rejillas en la cámara de carga obstruidas	Revisar y limpiar
		Obstrucción en el paso de agua	Si la presión de agua es menor a la normal y la aguja vibra; hay un objeto extraño
		Defectos del regulador	Técnico especialista
05	La turbina gira a gran velocidad solamente	El regulador está dañado	Técnico especializado
		La faja de regulación resbala	Verificar la tensión de estas
		El medidor de revoluciones está averiado	Verificar el frecuencímetro
		Para RECs, el fusible de carga secundaria está en corto	Revisar el estado de resistencias
06	Presencia de cargas momentáneas	Verificar velocidad de diferentes cargas.	Técnico especialista
07	Fluctuación de la velocidad de la turbina con carga	Defectos en el regulador	Verificar la tensión de la faja de transmisión y ajuste
		Para RECs; resbalamiento en la faja de transmisión (en planas)	
08	Fluctuación de la velocidad de la turbina sin carga	Defectos del regulador	Técnico especializado
		Resbalamiento de fajas del regulador	Revisar y ajustar la tensión

COJINETES: C			
FALLAS		MOTIVOS	SOLUCIONES
01	Mala estanqueidad del prensaestopas que rodea al eje	velocidad periférica hasta de 6 m /s	Se utiliza grasa consistente
02	y mala evacuación de aguas de fugas	velocidad periférica mayor a 6 m /s	Lubricación automática con aceite
03	Desbalanceo del grupo y Aumento de temperatura	Juego en el cojinete (1,5 % de su diámetro) y desgaste del mismo	temp.del metal del cojinete no exceder de 50 C (con grasa), 65C (con aceite)
04	Variaciones del nivel , Temp. y circulación del aceite del cojinete	Introducción de depósitos o aguas al aceite	Control periódico de estos parámetros y Retiro de depósitos
05	Inseguridad de marcha del cojinete de suspensión	Para soportes sometidos a grandes esfuerzos:	El agua de refrigeración debe purificarse por medio de filtros que deben limpiarse periódicamente
		Debe existir refrigeración del aceite	
06	Temperaturas altas	Trascurridos 2 o 3 años de servicio	Debe cambiarse el aceite y limpiar el soporte, (desgaste < al 30%)
07	Ruido y calentamiento	Alineamiento incorrecto	Verificar el alineamiento y corregir
		Rodamientos con poca grasa	Verificar y engrasar
		Rodamientos con exceso de grasa	Verificar y retirar la grasa de ser necesario
		Demasiada tensión en la faja de transmisión	Verificar y corregir
		Rodamientos defectuosos	Cambiar si es necesario
		Partes móviles en rozamiento: rotor, gene, ventilador, rodamiento ,etc	Ver y eliminar

GENERADOR: GN			
FALLA		MOTIVO	SOLUCIÓN
01	Sobrecarga	Exceso de carga permitida por el generador, desbalanceo de la carga en las fases	Se quema el generador, rebobinar
02	Sobre /bajo voltaje	Falla del campo de la excitatriz y el regulador	Se quema el generador, rebobinar
03	No hay voltaje cuando el generador está en marcha	Defectos en el regulador de tensión	Verificar tensión continua a la salida del AVR
		Bornes flojos	Revisar y ajustar
		Fusibles del AVR en corto	Revisar y cambiar
		Velocidad de rotación baja	Verificar y corregir
		Mal contacto en escobillas	Verificar el correcto asentamiento de estas o de los carbones
04	Voltaje del alternador demasiado bajo sin carga	Velocidad de rotación baja	Verificar y corregir
		AVR defectuoso	Verificar y reemplazar si es necesario
		Mal contacto en escobillas	Verificar y reemplazar si es necesario
		Mal ajuste de voltaje en el AVR	Ajuste el voltaje en el AVR
05	Voltaje del alternador demasiado alto sin carga	Velocidad demasiado alta	Verificar y corregir si es necesario
		Mal ajuste de voltaje en el AVR	Ajuste el voltaje en el AVR
		Defectos en el AVR	Verifique y reemplace si es necesario
06	Voltaje del alternador cae cuando se conecta la carga	Caída de velocidad con carga	Verificar el regulador, falla
		Fajas de transmisión flojas	Verificar la tensión
		Sobrecarga del alternador	Verificar los instrumentos o reducir la carga
		Fuerte desbalance de cargas	.Verificar los amperímetros
		Ninguna anterior...entonces:....	Solicitar al técnico especialista

GENERADOR GN (continuación)			
FALLA	MOTIVO	SOLUCIÓN	
07	Voltaje del alternador varía continuamente	Velocidad inestable de la turbina	Verificar en el regulador
		Fajas flojas de transmisión	Verificar la tensión y ajustar .
		El traslape de la faja plana	Verificar el adecuado traslape o cambio de faja si es necesario
		Bornes flojos	Verificar y ajustar
		Superficie irregular en los anillos rozantes o conmutador, no permite un adecuado contacto de los carbones	Verificar la superficie caso extremo; rectificar el anillo
08	Pérdida de campo	Falla de la excitatriz	Revisar /cambiar los fusibles de la excitatriz
09	Motorización (dos o más generadores en paralelo)	Potencia inversa	El generador se convierte en motor, puede dañar a la turbina, revisar el regulador automático de voltaje
10	Vibración	Descentramiento del rotor	Revisar y limpiar /cambiar los cojinetes
			Alinear el generador con el eje de la turbina
			Nivelar el generador
11	Incremento en la temperatura	Fatiga del aislamiento del bobinado	Revisar y cambiar el aislamiento del bobinado del rotor y/o estator
		Suciedad acumulada en el bobinado	Limpiar el bobinado del estator y/o rotor
12	Corto Circuito	Contacto entre las fases del bobinado del rotor y/o estator por falla del aislamiento	Rebobinar el rotor /estator
		Contacto entre las fases del rotor con el estator por descentramiento del rotor	Cambiar los cojinetes, alinear la turbina, nivelar el generador, rebobinar en estator y rotor
13	Una o más fases a tierra	Contacto entre una o más fases del bobinado del rotor y/o estator con el bloque del generador o tierra del generador	Rebobinar el rotor /estator

4.5 Análisis administrativo.

4.5.1 Análisis legal y constitutivo de la planta

Es deber del Estado, facilitar y canalizar los recursos necesarios para la implementación de nuevas fuentes de energía, en conformidad con lo establecido en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, como lo detalla en el artículo 1:

Art. 1 Deber del Estado.-

“El suministro de energía eléctrica es un servicio de utilidad pública de interés nacional; por tanto, es deber del Estado satisfacer directa o indirectamente las necesidades de energía eléctrica del país, mediante el aprovechamiento óptimo de recursos naturales, de conformidad con el Plan Nacional de Electrificación.”

De igual manera, la MCH está amparada por los artículos y reglamentos sustitutivos correspondientes a Auto productores y al FERUM detallados a continuación

Art. 62 Electrificación rural y urbano marginal.

“El Estado promoverá los proyectos de desarrollo de electrificación rural y urbano - marginal, y las obras de electrificación destinadas a la provisión de agua potable, preferentemente en las poblaciones ubicadas en las provincias fronterizas, en la amazonía y Galápagos.”

En la REGULACION No. CONELEC - 001/02: Auto productores, se establece que conviene fomentar y facilitar el aporte de los Auto productores con el propósito de garantizar una reserva de generación y evitar posibles desabastecimientos.

a. Impacto Ambiental

Por utilizar un recurso natural, como son las aguas del río, es necesario observar la legislación correspondiente al impacto ambiental provocado por la instalación de la planta, de manera que cumpla con los requisitos establecidos en dichas leyes, las mismas que se detallan a continuación:

De conformidad con el artículo 23 numeral 6 y los artículos 86 al 91 de la Constitución Política de la República del Ecuador, el Estado reconoce a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación que garantice un desarrollo sustentable

De Igual manera, la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, en el artículo 3, dispone que en todos los casos los generadores, transmisor y distribuidores de energía eléctrica, observarán las disposiciones legales relativas a la protección del ambiente; y, que el Reglamento de orden técnico que dicte el Presidente de la República, preparado por el CONELEC, determinará los parámetros para la aplicación de esta norma y el mismo prevalecerá sobre cualquier otra regulación secundaria

Art. 5 Proyectos e instalaciones.

“Todo proyecto u obra para la generación, transmisión o distribución de energía eléctrica será planificado, diseñado, construido, operado y retirado, observando las disposiciones legales relativas a la protección del ambiente. “

Estas disposiciones se encuentran detalladas en la Ley de gestión Ambiental

b. Concesiones y permisos

De igual manera, la central hidroeléctrica de la Base de Selva 50 Taisha, debe cumplir con lo establecido en el artículo 2 de dicha ley:

Art. 2 Concesiones y Permisos.

“El Estado es el titular de la propiedad inalienable e imprescriptible de los recursos naturales que permiten la generación de energía eléctrica. Por tanto, sólo él, por intermedio del Consejo Nacional de Electricidad como ente público competente, puede concesionar o delegar a otros sectores de la economía la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.”

Para la concesión del uso de aguas, la ley de aguas establece los siguiente:

“Art. 34 Las concesiones del derecho de aprovechamiento de agua se efectuarán de acuerdo al siguiente orden de preferencia:

- a) Para el abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales;
- b) Para agricultura y ganadería;
- c) Para usos energéticos, industriales y mineros; y,
- d) Para otros usos.”

Por lo que, el ejército deberá solicitar al ministerio de Energía y Minas la concesión de las aguas del río para poder utilizarlas para la central. Para el caso específico en estudio, los permisos necesarios para la realización de la obra, debe ser solicitada por el ejército Ecuatoriano al municipio de Taisha, los mismos que son los siguientes:

1. Solicitud de aprobación de planos de obras civiles.
2. Solicitud de permiso de construcción.

Razón por la cual, también se deberá solicitar al municipio de Taisha otorgue el permiso correspondiente para la utilización de aguas del río.

Art. 30 Permisos para Generación.-

“La construcción y operación de centrales de generación de 50 Mw o menos, sea que se destinen a la Autogeneración o al servicio público, requerirán solamente de un permiso concedido por el CONELEC, sin necesidad de promoción alguna, por cuanto el permiso no implica el egreso de fondos públicos.

Las personas interesadas en la construcción y operación de este tipo de centrales solicitarán al CONELEC el permiso correspondiente, el que no podrá ser negado sino en los siguientes casos:

- a) Incumplimiento de las leyes sobre protección del medio ambiente; y,
- b) Incompatibilidad con las condiciones técnicas señaladas por el CONELEC para el desarrollo de los recursos energéticos del sector eléctrico.”

En el caso de la MCH, este permiso es necesario solo si se va a distribuir y comercializar la energía generada excedente a la población civil de Taisha, para el caso de autoalimentación de la base, no es necesario este solicitar este permiso, debido a que en primer lugar, la planta no estará conectada al Sistema Nacional Interconectado o a un subsistema aislado que preste un servicio público.

4.6 Análisis de involucrados (CONELEC)

Para el presente proyecto, en conformidad con lo establecido en los puntos anteriores, el Ejército es el ente promotor, y adjudicatario del proyecto, por lo que, contando con los permisos correspondientes del Ministerio de Energía y Minas y del Municipio de Taisha, podrá realizar la obra sin contratiempos.

El CONELEC, será la autoridad competente, ante quien el Ejército deberá presentar la documentación que sea solicitada, solo en el caso de que la Base decida comercializar el excedente de energía.

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONOMICO

5.1 Costo de la visita al lugar del recurso hídrico y trabajos necesarios

Los gastos necesarios para la visita a la base de selva BS-MORONA se detallan a continuación:

Tabla 5.1. Costos de visita al lugar.

No personas	Descripción	Valor Unitario	Valor Total (USD)
2	Transporte Quito –Shell -Quito	30	60
2	Viáticos	40	80
2	Transporte Shell-Taisha-Shell	12	24
2	Otros	14.1	28.2
Subtotal			192.2

Los costos de los trabajos o estudios necesarios se describen a continuación:

Tabla 5.2 Costos de trabajos realizados.

Trabajos / Estudios	Costo (USD)	Observación	Total (USD)
Demanda	1000	Ing.Mecánico	1000
Salto	1000	Ing. Mecánico	1000
Determinación del caudal y volumen de piscina	3000	Ing. Mecánico	3000
Preselección del grupo hidráulico	650	Ing.Mecánico	650
Dimensión de casa de máquina y distribución de planta	680	Ing.Mecánico	680
Subtotal:			6330

Subtotal Ing. Mecánico: 6522.2 USD

5.2 Costo de pre-selección de la obra civil y estudios relacionados.

Estudio de pre-selección de la obra civil

- Barraje de derivación, Toma de ingreso
- Compuertas de regulación, Aliviaderos
- Canales de rebose, Desarenador
- Canal, Cámara de carga
- Tubería de presión, Cruces de canal
- Apoyos de tubería, Anclajes de tubería

Subtotal Ingeniero encargado del diseño: 1500 USD

Presupuesto de estudios relacionados.

1. Estudio del medio físico:

- Topográfico;

- Pendientes ;
- Perfiles; Caídas y conducción de aguas

- Micro cuencas.

- Pluviosidad; Meses de lluvia

- Intensidad hídrica; Cantidades de agua

(Ingeniero mecánico ya realizado)

2. Estudio Socio-ambiental:

- Actividades productivas (Beneficios del cambio de generación)

- Nuevas instalaciones
- Nuevos comercios
- Horarios de trabajo diferentes

3. Estudio Medio Biótico:

- Vegetación y Botánica :

- Vegetación circundante; tipos, cantidades, nombre

- Zoología:

- Tipos de animales, cantidades y posibles afectados

Estudio Geológico:

- Cartografía Geológica básica para estudios posteriores.
- Obras civiles (vías, urbanismo, etc.).
- Estudios para evaluar y aprovechar las aguas subterráneas.
- Evaluar riesgos sísmicos y definir áreas de amenaza Geológica.
- Zonificar áreas para definir su uso y prevención.

Subtotal Ingenieros otros: 4300 USD

Total estudios, visita al recurso y trabajos necesarios: 12322.20 USD

5.3 Estudio del presupuesto de adquisición, transporte y montaje

5.3.1 Adquisición:

- Turbina y Grupo entero

No. 1)	1 TURBINA HIDRAULICA OSSBERGER	
	Modelo de aspiración, turbina de	1 compartimiento
	previsto para una caída neta de:	19,7 metros
	y un caudal de:	363 lit./seg.

Potencia garantizada en Kw.:

<u>100 %</u>	<u>90 %</u>	<u>60 %</u>	<u>50 %</u>	<u>40 %</u> cargado
56,8	51,1	34,1	28,1	22,4 Kw. al árbol de turbina
363	327	218	182	145 lit./seg. consumo agua
81 %	81 %	81 %	80 %	80 % rendimiento

Recargos(desaduanización especial, Ejército):

Recargos (USD americanos) :

25.75 ;	fuel surcharge
13.39 ;	security surchg
25 ;	terminal service
12 ;	sed prep or transmission
31.48	
15.45 ;	Certificación del valor de flete

6.15	Collecion free
30:	Desconsolidación
8;	Visto bueno
3;	Ingreso inf. Electrónica
50	flete interno

=====

total(aduana): 220 ,22

Pro-forma ejemplo por Samisa (anexos XIX)

Total desaduanizado (Guayaquil, Shell, Quito o Puyo)

USD: 66925

– Construcción de la obra civil

Tabla 5.3. Lista de materiales para la obra civil. Barraje

Volumen de hormigón (m ³) :				15
Material	Cantidad (m ³)	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	2.14	9.00	5.58	50.22
Arena	5.36	5.36	10.00	53.58
Ripio	7.50	7.50	10.00	75.00
Hierro (m ²)	150	150	4.00	600.00
Piedra	10	10	10.56	105.60
Plastocrete DM (kg)	4.50	4.50	0.87	3.89
Total:				888.29

Tabla 5.4. Lista de materiales para la obra civil. Desarenador

Volumen de hormigón (m ³) :				13
Material	Cantidad (m ³)	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	1.86	7.80	5.58	43.52
Arena	4.64	4.64	10.00	46.44
Ripio	6.50	6.5	10.00	65.00
Hierro (m ²)	150	150	4.00	600.00
Piedra	10	10	10.56	105.60
Plastocrete DM (kg)	3.90	3.90	0.87	3.37
Total:				863.93

Tabla 5.5. Lista de materiales para la obra civil. Aliviadero

Volumen de hormigón (m ³) :				5
Material	Cantidad (m ³)	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	0.71	3.00	5.58	16.74
Arena	1.79	1.79	10.00	17.86
Ripio	2.5	2.5	10.00	25.00
Hierro (m ²)	150	150	4.00	600.00
Piedra	10	10	10.56	105.60
Plastocrete DM (kg)	1.50	1.50	0.87	1.30
Total:				766.50

Tabla 5.6. Lista de materiales para la obra civil. Tanque de presión

Volumen de hormigón (m ³) :				17
Material	Cantidad (m ³)	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	2.43	10.20	5.58	56.92
Arena	6.07	6.07	10.00	60.72
Ripio	8.5	8.5	10.00	85.00
Hierro (m ²)	150	150	4.00	600.00
Piedra	10	10	10.56	105.60
Plastocrete DM (kg)	5.10	5.10	0.87	4.41
Total:				912.65

Tabla 5.7. Resumen de materiales para la obra civil.

Volumen de hormigón (m ³) :			50
bocatoma –canal-desarenador-tanque de presión			
Material	Cantidad (m ³)	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	7.14	23.44	167.40
Arena	17.86	10.00	178.60

Tabla 5.7. Resumen de materiales para la obra civil (continuación).

Volumen de hormigón (m ³) :			50
bocatoma –canal-desarenador-tanque de presión			
Material	Cantidad (m ³)	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Ripio	25	10.00	250.00
Hierro (m ²)	500	4.00	2000.00
Aditivos (m ³)	0.03	867.00	26.01
Malla (u)	8	1.90	33440.00
Materiales Total:			36062.01

Tabla 5.8. Resumen de materiales para la obra civil. Reservorio.

Material	Cantidad (m ³)	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Cemento	85.72	360.01	23.44	2008.84
Arena	214.32	214.32	10.00	2143.20
Ripio	300	300	10.00	3000.00
Hierro (m ²)	6000	6000	4.00	24000.00
Aditivos	0.36	0.36	867.00	312.12
Materiales Total:				31464.16

Tabla 5.9. Resumen de materiales para la obra civil. Casa de máquinas

Material	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Bloques	150	0.29	43.50
Cemento saco	41.5	5.58	231.57
Hierro 14 varilla	35	10.68	373.72
Hierro 8 varilla	50	3.50	174.84
Resina (gl).	5	7.78	38.90
Murosil	2	41.00	82.00

Tabla 5.9. Resumen de materiales para la obra civil. Casa de máquinas (continuación)

Material	Cantidad (u)	Costo / u (USD)	Costo Total (USD)
Carbonato	2	7.37	14.74
Pintura (gl).	3	14.59	43.77
Ventanas	3	35.00	105.00
Puerta	1	250.00	250.00
Material eléctrico	1	200.00	200.00
Total:			1558.03

Costo total de adquisición de materiales (Incluye IVA): 69084.20 USD

- Construcción de la línea eléctrica , DICOEL /Constructora Eléctrica

Tabla 5.10. Materiales y costos para la construcción de la línea de transmisión

Proyecto: Taisha					
Ciudad: Morona Santiago					
Ítem.	descripción	UNID	CAN	\$/UNID	\$ TOTAL
1	transformador de 62 Kva.,440/220 v	u	1	1650	1650
2	cartucho fusible tipo NH tamaño 1 de 500 v, 200 a	u	6	11	66
3	vaso porta-fusible	u	6	16.5	99
Total materiales					11751.42
Mano de obra sin postes parados					2937.86
Dirección técnica y transporte					1468.93
Subtotal					16158.21
IVA. 12 %					1938.99
Total (USD)					18097.20

Ing. Rogelio Morocho (peso: 700 Kg)

Teléfonos: 2-921619/2610881

Nota: En el anexo XX se muestra la tabla completa de la pro forma de instalación de la línea de transmisión.

5.3.2 Transporte (función del peso Kg)

Grupo hidráulico:

No. 1, 2, 3, 5, 7:	1 caja, aprox. 1300 x 900 x 700 mm	aprox. 710 Kg.
No. 4:	non embalado 600 x 600 x 1500 mm	aprox. 140 Kg.
No. 6:	non embalado 1600 x 760 x 710 mm	aprox. 160 Kg.
No. 8:	1 caja, aprox. 900 x 800 x 800 mm	<u>aprox. 420 Kg.</u>

Ver anexo XXI

Peso bruto(grupo) aprox. 1.430 Kg.

Construcción Obra civil

Tabla 5.11 Peso a transportar de materiales de la obra civil (kg.)

Cant. (u)	Material	PESO kg.
431,5	Cemento (sacos 50 kg)	21575,39
1	Plastocrete DM (kg)	375,00
150	Bloques	705
35	Hierro 14 varilla	504,35

Tabla 5.11 Peso a transportar de materiales de la obra civil (continuación) (kg.)

Cant. (u)	Material	PESO Kg.
50	Hierro 8 varilla	235
5	Resina (gl)	18,93
2	Murosil	7,57
2	Carbonato	100
3	Pintura (gl)	11,36
3	Ventanas	15
1	Puerta	50
	Subtotal (kg)	47950.71

Peso total: 50080 Kg.

– TRANSPORTE (Shell - Taisha):

1. Costo de operación del helicóptero Súper Puma MI

Precio del combustible jp1	(USD / lb ¹):	0.174834
Costos de operación (Insumos y mano de obra	(USD /lb):	0.052450
Costo Total	(USD / lb):	0.227284
Consumo de combustible / por viaje	(lb):	500

<i>Costo total por viaje</i>	<i>(USD):</i>	<i>113.64</i>
------------------------------	---------------	---------------

¹ Precio oficial de Petrocomercial de JP1 para aviación.

2. Número de viajes a realizar y USD

Tabla 5.12 Capacidad de carga del Helicóptero (Kg.): 3500

Material	Peso (kg.)	Num. viajes	Costo transporte (USD)
Cemento (sacos 50 kg.)	21575,39	7	700,54
Hierro (m ²)	24353,12	7	790,73
Plastocrete DM (kg.)	375,00	1	133.64
Bloques	705		
Hierro 14 varilla	504,35		
Hierro 8 varilla	235		
Resina (gl)	18,93		
Murosil	7,57		
Carbonato	100		
Pintura (gl)	11,36		
Ventanas	15		
Puerta	50		
Equipo hidroeléctrico	1430	1	113.64
Equipo trans elect.	700		
Subtotal:			1718,55

3. Costo de explotación del material.

Tabla 5.13 Costo de explotación (Taisha)

Material	Cantidad (USD/m ³)
Arena	232,18
Ripio	325
Piedra	331
Total	888,18
Costo Total (USD)	2000

Costo total de transporte (shell-taisha): 3718.55 USD

– TRANSPORTE (PUYO/ QUITO ---- SHELL):

Tabla 5.14 Número de viajes a realizar y costos (USD)

Material	Peso (Kg.)	Número viajes	(USD /viaje)
Cemento (sacos 50 kg)	21575	2,70	107,88
Arena (m ³)	0	0,00	0
Ripio (m ³)	0	0,00	0
Hierro (m ²)	24353	3,04	121,77
Piedra (m ³)	0	0,00	0
Plastocrete DM (kg)	375	0,05	1,88
Bloques	305	0,04	1,53
Hierro 14 varilla	504	0,06	2,52
Hierro 8 varilla	235	0,03	1,18
Resina (gl)	19	0,00	0,10
Murosil	8	0,00	0,04
Carbonato	100	0,01	0,5
Pintura (gl)	11	0,00	0,06
Ventanas	15	0,00	0,08
Puerta	50	0,01	0,25
Material eléctrico	700	1,00	200
	48250	6,94	437,75
Subtotal:	48,25	7	437

Tabla 5.15 Transporte Guayaquil – Shell

GRUPO ELECTROHIDRAULICO (Guayaquil – Shell)			
Tipo (Qué)	Peso (Kg.)	\$ -shell/ flete	Costo total (USD)
Grupo	1430	200	200
Otros	Gasto:(adua),tramit,otros	0	0
Subtotal			200

Transporte (Puyo/ Guayaquil/ Quito ---- Shell): 637 USD

Transporte (shell - taisha): + 3718 USD

Subtotal 4355 USD

Total transporte (20% +): 5226 USD

5.3.3 Costos de Montaje

Los costos de construcción y montaje, están referidos a la mano de obra calificada y no calificada necesaria para la implementación de este proyecto, el mismo que se resume a continuación conforme a las horas de trabajo de cada personal:

- Obra Civil (mano de obra): 12500.00 USD
 - * Ing. Civil (3125 USD / Km. de obra) *(2 Km.) = 6250 USD
 - * Maestros acompañantes del Ing. Civil: 6250 USD

 - Obra mecánica (mano de obra):: + 10000.00 USD
 - * Ing. Mecánico y ayudante (Experiencia de al menos dos puestas en servicio)
 - * Ing. Mecánico (Estudio de Fallas, soluciones)(Estudio económico /administrativo)
- Total costos de montaje: 22500.00 USD***

5.4 Presupuesto de Pruebas de Operación y MTTO

5.4.1.- Pruebas de Operación:

Materiales de cartas de control: 20 USD / año * 20 años = 400USD

Tabla 5.16 Fallas en turbinas

fallas	motivos	soluciones
Defectos de estanqueidad	Introducción de aguas en las ruedas del núcleo de las palas	Intervención por parte del constructor

Nota: Los Costo de operación son nulos por ser personal del ejército.

5.4.2.- MTTO (Repuestos y Mano de obra especializada)

– Repuestos:

Sin MTTO Opcional : 500 USD

– Mano de obra especializada:

Visita al lugar del generador por parte del especialista

Tabla 5. 17 Costos de visita al lugar

	Costos de Visita (Personas)	OBS:
N %/ viaje	Transporte por persona.	Costo total (USD)
2 (ida y vuelta)	10	20
	Sub-Total:	98

Costo: $98/2=49$ USD (una persona)

Forma: $49 * \text{Numero de visitas} / \text{año} * N \text{ años}$

Numero de visitas/ año: 0.5

N años: 20 años de servicio del grupo

$49 \text{ USD} / N \text{ Visitas} * 0.5 \text{ visitas} / \text{año} * 20 \text{ años} = 490 \text{ USD}$

Costo del especialista:

$200 \text{ USD} / \text{visita} * N \text{ visitas}$

$200 \text{ USD} / \text{visita} * 10 \text{ visitas} = 2000 \text{ USD}$

Subtotal = 2490 USD

5.5 Presupuesto Capacitación del personal

Es necesario capacitar al personal que trabajará en la central, por lo que se necesitan 2 personas a tiempo completo que vivan en el lugar para que puedan realizar el mantenimiento y la operación de los equipos y obras instalados, por lo cual es necesario trasladar al lugar un ingeniero que pueda instruir a dicho personal, generalmente, el ingeniero a cargo del montaje también realiza estas funciones.

Rubro por capacitación (honorarios): 2000 USD

5.6 Presupuesto del estudio administrativo.

El estudio administrativo se refiere, al presupuesto necesario para tramitar los permisos necesarios tanto para la adjudicación como para la construcción, ante el Municipio de Taisha, el Ministerio de Energía / Minas y la Dirección de Proyectos del CCFF.

Para este caso, se ha asignado un valor de: 2000 USD.

5.7 Comparación con el grupo electrógeno ocupado en la base

El grupo electrógeno que actualmente se encuentra operando tiene las siguientes costos de producción, cabe mencionar que la base de selva no a tenido ni tendrá un porcentaje de crecimiento notable en los últimos años, es por eso que no se ha considerado aumento de la demanda a lo largo de los años:

- Central térmica:

Tabla 5.18 Costo de operación del grupo electrógeno funcionando BS-50 Morona

COSTO DEL COMBUSTIBLE	
Rendimiento (gl./h)	8.00
Horas de funcionamiento diario (h)	4.00
Horas de funcionamiento anual (h)	1460.00
Energía anual entregada (MWh/año)	58.40
Consumo Anual (gls./año)	11680.00
Precio del combustible (En la terminal) (USD /gl.)	0.90
Costo total del combustible (USD /año)	10520.22
Aceites y aditivos (USD /año)	1104.62
COSTO TOTAL (USD /año)	11624.85

TRANSPORTE (BARRILES DE 55 gl.)	
Viajes por año (puente aéreo)	48.00
Costo por viaje (USD /viaje)	300.00
Costo total por año (USD /año)	14400.00

Costo total de generación	26024.85
Costo total del combustible (USD /gl.)	2.23
Eficiencia del grupo generador (Kwh. /gl.)	18.38
Costo total del Kwh. generado (USD /Kwh.)	0.12

Para poder compararlo con la central hidroeléctrica, primero debemos definir las condiciones de operación de los equipos:

- Central Hidroeléctrica:

Tabla 5.19. Costo estimado del Kwh. de la central hidroeléctrica

Central Hidroeléctrica	
Horas de funcionamiento diario (h)	24.00
Horas de funcionamiento anual (h)	8760.00
Energía Entregada (MWh/año)	350.40
Caudal turbinado Anual (m ³ /año)	157680.00
Costo total construcción obra civil (USD)	101552.90
Costo total construcción obra electromecánica (USD)	99240.53
COSTO TOTAL (USD)	200793.43
COSTO TOTAL DEL Kwh. GENERADO (USD /Kwh.)	0.04

Nota: Ver anexo XXII. Tabla de cálculo de costo del kWh generado

Del proyecto se han obtenido los siguientes datos que servirán de información básica como el Costo anual de mantenimiento y operación: 1390 USD y los tiempos de inversión.

Tabla 5.20. Tiempos de inversión del capital para la construcción.

Inversiones	Total	Año 1	Año 2
Obra Civil	101552.9	101552.9	0
Obra Electromecánica	99240.53	0	99240.53
Totales	200793.43	101552.9	99240.53

Tabla 5.21 Venta anual de energía

Año	Kwh. /año	Costo unitario (USD)
1	0	0
2	0	0
3 – 30	9811200	0.12

Tabla 5.22. Flujo de Caja:

Flujo de Caja interna							
Año	Beneficios			Gastos			
	Valor Energía (USD)	Valor Residual (USD)	Benef Total (USD)	Inversión (USD)	Oper y Mtto (USD)	Gasto total (USD)	Flujo de caja (FCi)(USD)
1	0		0	101552.90	0	101552.9	-101552.9
2	0		0	99240.53	0	99240.53	-99240.53
3	42048		42048		1390	1390	40658
4	42048		42048		1390	1390	40658
5	42048		42048		1390	1390	40658
6	42048		42048		1390	1390	40658
7	42048		42048		1390	1390	40658
8	42048		42048		1390	1390	40658
9	42048		42048		1390	1390	40658
10	42048		42048		1390	1390	40658
11	42048		42048		1390	1390	40658
12	42048		42048		1390	1390	40658
13	42048		42048		1390	1390	40658
14	42048		42048		1390	1390	40658
15	42048		42048		1390	1390	40658
16	42048		42048		1390	1390	40658
17	42048		42048		1390	1390	40658
18	42048		42048		1390	1390	40658
19	42048		42048		1390	1390	40658
20	42048		42048		1390	1390	40658
21	42048		42048		1390	1390	40658
22	42048		42048		1390	1390	40658
23	42048		42048		1390	1390	40658
24	42048		42048		1390	1390	40658
25	42048		42048		1390	1390	40658
26	42048		42048		1390	1390	40658
27	42048		42048		1390	1390	40658
28	42048		42048		1390	1390	40658
29	42048		42048		1390	1390	40658
30	42048	47584.69	89632.69		1390	1390	88242.69

Tabla 5.23. Cálculo del VAN y TIR

Año	Tasa Interna de Retorno			
	Factor del valor actual 5%	FNC (USD)	Factor del valor actual 1%	FNC (USD)
1	0,95	-96718,98	0,99	-100547,53
2	0,91	-90011,16	0,98	-97285,49
3	0,86	35124,45	0,97	39462,65
4	0,82	33449,34	0,96	39072,34
5	0,78	31855,54	0,95	38686,09
6	0,75	30333,71	0,94	38303,90
7	0,71	28900,93	0,93	37921,72
8	0,68	27517,33	0,92	37547,66
9	0,64	26208,15	0,91	37173,61
10	0,61	24959,95	0,91	36807,69
11	0,58	23772,73	0,90	36441,77
12	0,55	22235,86	0,89	36083,98
13	0,54	21967,52	0,88	35726,18
14	0,51	20536,36	0,87	35372,46
15	0,48	19556,50	0,86	35022,80
16	0,46	18625,43	0,85	34673,14
17	0,44	17739,09	0,84	34331,62
18	0,42	16893,40	0,84	33990,09
19	0,40	16088,37	0,83	33652,63
20	0,38	15324,00	0,82	33323,30
21	0,36	14596,22	0,81	32989,90
22	0,34	13896,90	0,80	32664,64
23	0,33	13238,24	0,80	32343,44
24	0,31	12608,05	0,79	32022,24
25	0,30	12006,31	0,78	31705,11
26	0,28	11433,03	0,77	31392,04
27	0,17	6822,41	0,76	31078,98
28	0,36	14437,66	0,76	30769,97
29	0,25	10001,87	0,75	30469,11
30	0,23	20154,63	0,74	65467,26
Total		373553.82		806663.27

Nota: VAN positivo: 373553.82 USD

FNC: Flujo neto de caja y lo obtenemos de regresar en el tiempo los flujos de caja de cada año al año de inversión, por ejemplo: de la anterior tabla 5.22, los flujos de

caja de los años 2 do y 3 ro (FC2: -99240,53 y FC3: 40658) les corresponde un FNci de FNC2: -97285,49 y FNC3: 39462,65 respectivamente al 1%.

El VAN se lo obtiene de la siguiente expresión:

$$VAN = \sum FNC_i - I_0 \tag{Ec 5.1}$$

$$FNC_i = \frac{FC_i}{(1+r)^{TM}} \tag{Ec 5.2}$$

Donde:

Io: Inversión inicial total; **FCi:** Flujo de caja; **FNci:** Flujo neto de caja de cada año; **TM :** Año de trabajo; **r:** Tasa de interés; **VAN:** Valor actual neto (Si es positivo + el proyecto es viable)

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Tasa con la cual se observa en la gráfica cual de estos factores obtenemos un valor VAN igual a cero.

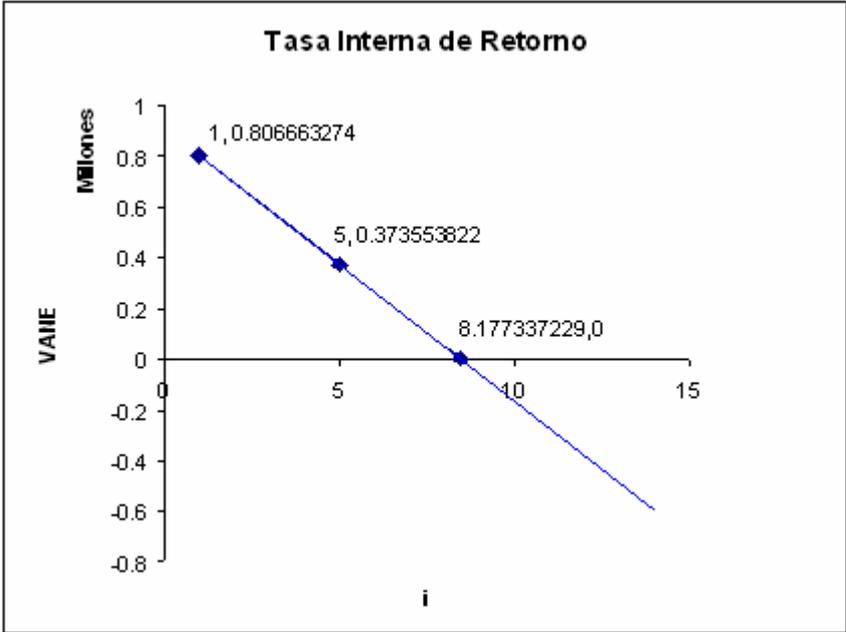


Fig. 5.1 Diagrama de equilibrio del TIR (**TIR: 8.18 %**)

Conclusión del cálculo económico.

Los valores más significantes son:

VAN (1%)	=	806663.27 USD
VAN (5%)	=	373553.82USD (Tabla 5.23)
VAN (8.18%)	=	0.0 USD

Vemos que existe un VAN positivo de 373553,82 USD y 806663.27 USD en las dos tasas de interés, por lo cual concluimos económicamente que el proyecto es totalmente viable.

Con un **TIR de 8.18%**, es muy bueno para este tipo de centrales hidroeléctricas ya que la tasa de interés del Banco Central esta fluctuando por el 5%.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones.

PROYECTO TAISHA:

- Ventajas de las centrales térmicas frente a las hidroeléctricas:

Menor inversión de capital inicial porque el precio por KW instalado es menor

La posibilidad de multiplicar el mismo proyecto ubicándolas en serie 50+50+50 (KW)

Ubicación cerca de la planta térmica al lugar de la carga.

Montaje mucho más rápido en la térmica que en la hidroeléctrica

Poca fluctuación de energía

- Ventajas de las centrales hidroeléctricas frente a las centrales térmicas

No requieren combustible

Es limpia y no contamina ni el aire ni el agua

Puede dar servicios de energía como de riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua y ornamentación de los terrenos.

Los costos de MTTO son reducidos

Larga duración de las planta (28 - 35años)

Puede detenerse sencilla y rápidamente.

- La corriente para la que están preparados la mayoría de los aparatos tiene como características una frecuencia estable de 50 Hz (60 Hz según el país en que nos encontremos) y un determinado voltaje, de 110 V, 220V, 380V;por tanto, los aparatos requieren una corriente de este tipo, que no oscile más allá de un (10% en frecuencia y voltaje).Para nuestro caso si se manifiesta el grupo de esta forma

- Para tres o más usuarios ya se hace necesario algún tipo de regulación de tensión y de frecuencia. Si no se puede afrontar el costo que demanda instalar un regulador, se deberá mantener una carga o demanda fija de energía, esto significa que en cada vivienda la carga debe mantenerse constante o sin variaciones considerables. Esta es la opción más económica y sencilla de regulación.

- *La conclusión realmente importante es que se precisa operar los generadores en una banda de voltaje y frecuencia próxima a la establecida.*

(Ello determinará el buen funcionamiento de los equipos conectados y su esperanza de vida).

- En Micro centrales, estamos hablando de aquellos sistemas de transformación de la hidroenergía en el rango de potencias de 5 a 100 [Kw.]. Estos sistemas pueden proveer de energía a poblaciones rurales con un rango de población de 30 a 500 familias en condiciones normales de consumo de energía.

- ¿Por que la interconexión no es económicamente la mejor opción ?

La principal razón es que las cantidades de energía verdaderamente necesarias para los usuarios rurales son mínimas. Nuestra encuesta muestra que la gran mayoría de las familias rurales realmente quieren, necesitan y frecuentemente se encuentran en la capacidad de pagar por 2-10 kWh/mes.

- La turbina **ossberger** tiene además las siguientes ventajas adicionales :

No se produce detención de la planta ni por causa de un rodete obstruido (el rodete de la turbina Ossberger tiene la característica de ser autolimpiante, lo que no es así en una Francis/Pelton)

Envejecimiento y desgaste de las paletas en el transcurso del tiempo como se produce en turbinas de sobrepresión, no ocurre en las Ossberger con lo cual estas mantienen su buena eficiencia inalterada

Los trabajos necesarios para su montaje son extremadamente sencillos.

Los trabajos de mantenimiento rutinaria pueden ser efectuadas durante la operación de la planta, es decir, no es necesario detenerla para ello.

Las necesidades de mantenimiento son mínimas, casi despreciables.

La regulación de la cantidad de agua de entrada se puede efectuar en un amplísimo rango manteniendo la eficiencia en forma invariable.

La turbina Ossberger es de una sencillez de construcción única: sólo 2 o 3 partes móviles.

Como rodamientos o descansos principales se utilizan rodamientos de rodillos a rótula, los que quedan ubicados fuera de la zona húmeda, de forma tal que se pueden cambiar con elementos normales y se evita la contaminación del agua con lubricantes.

Debido a todas estas consideraciones la turbina OSSBERGER es, para pequeñas centrales hidroeléctricas, la solución ideal debido a su sencillez, fácil operación, prácticamente nula mantención requerida y confiabilidad, lo que asegura una generación e ingresos óptimos y libres de preocupación.

Los valores más significantes son:

VAN (1%)	=	806663.27 USD
VAN (5%)	=	373553.82 USD
VAN (8.18%)	=	0.0 USD

Vemos que existe un VAN positivo, por lo cual concluimos que el proyecto es totalmente viable considerando también lo que implica trasportar el combustible en una forma insegura y además el incremento de las horas de generación, de 4 hr a 24 hr, que permitirá mejorar el estilo de vida en forma muy notable del personal de la base.

Con un **TIR de 8,18%**, el proyecto es totalmente viable, pues es muy bueno para este tipo de centrales hidroeléctricas, ya que la tasa del Banco Central fluctúa por el 5%.

- De acuerdo a los gastos de inversión de esta obra hidroeléctrica y a los gastos mensuales del grupo actual en funcionamiento, la obra se podría financiar solamente a lo largo de un periodo de 10 años. Lo cual quedaría durante el resto de vida del grupo (17-20 años.) solo con gastos de MTTO. Sin contar que la obra civil es indefinida.

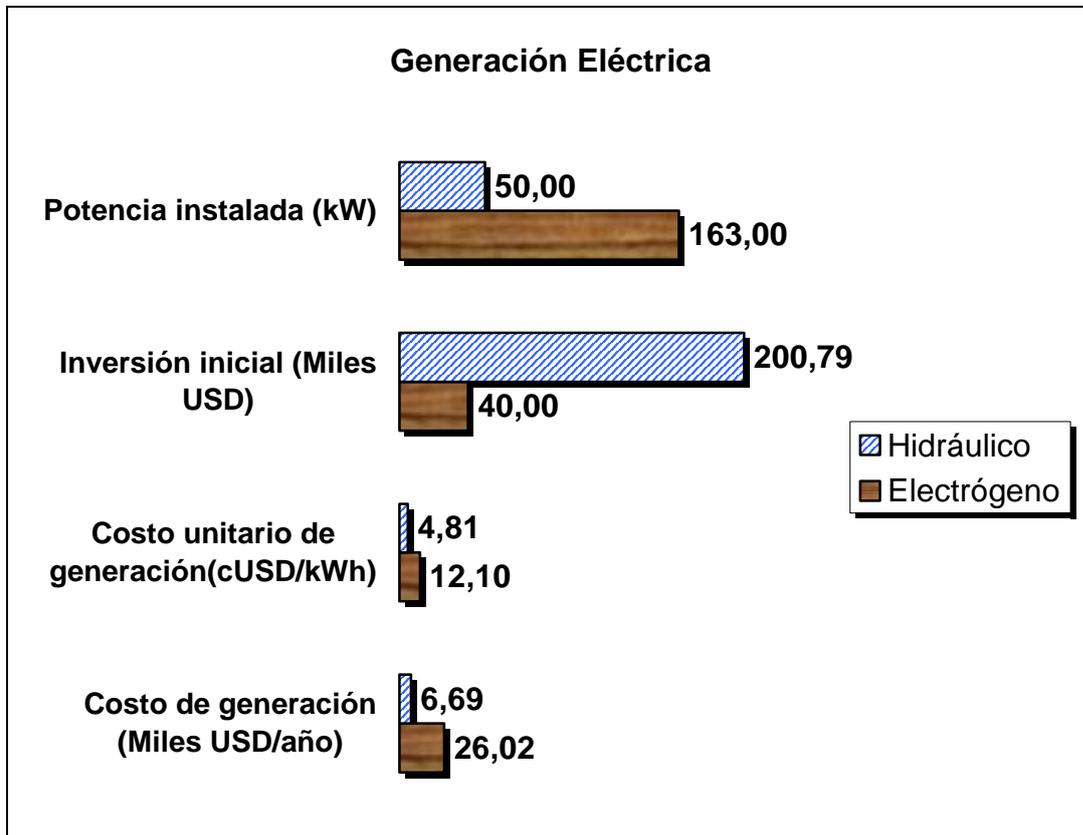


Fig 6.1. Comparación económica entre un grupo electrógeno y el hidráulico en estudio.

RECOMENDACIONES

6.2 Recomendaciones.

Dado que los costos de las plantas son bastante elevados, se debe tender a adoptar acciones que los reduzcan, en este sentido se propone:

- La participación de los elementos de la base beneficiados suministrando mano de obra no especializada en forma gratuita. Se ha demostrado que este rubro representa de un 19 a un 35 % del costo total.

- En lo posible, que la base suministre, sin costo para el proyecto, materiales existentes en la zona (piedra, arena, grava, madera).
- Que las obras civiles se reduzcan a lo mínimo necesario, dado que normalmente existe la tendencia de sobredimensionarlas.
- Que se incentive a realizar un plan de construcción de microcentrales hidroeléctricas en serie. Esto permitiría adquirir equipos y materiales, principalmente de líneas eléctricas, en cantidades, con la consecuente rebaja de costos.

En cuanto se refiere a la operación y administración de las plantas, su transferencia a los beneficiarios, presenta las siguientes ventajas:

- Capacitar al personal permanente de la base en la operación y mantenimiento de la planta, dado que el personal foráneo implica siempre un costo mayor.
- Adopción plena del proyecto por parte de la comunidad de la base.
- Capacitación al personal en el manejo eficiente de la energía eléctrica proporcionada. Crear conciencia que el manejo eficiente de la energía reduce los costos de operación y mantenimiento de la planta, así como también mantiene la calidad de la energía beneficiando a todo el personal de la base.

Los aspectos técnicos a resaltar:

- No se contaba con suficiente información hidrometeorológica ni con cartas geográficas a escalas apropiadas. Este problema se subsanó parcialmente realizando todos los afloramientos que el limitado tiempo de planificación y acopio de datos permitía y empleando técnicas hidrológicas para cuencas con escasa información.
- Como el proyecto ha demostrado su viabilidad económica en el presente estudio, es recomendable que el mismo sea llevado a niveles de mayor detalle, se sigiera realizando visitas de campo y ejecutar los estudios complementarios.
- El estudio de impacto ambiental deberá ser realizado con bastante meticulosidad, pues al ser un área rica en biodiversidad dependiente de la cuenca del río Unupi, el variar el curso de éste provocará un impacto fuerte en las especies de plantas y animales de la zona de influencia de la central.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. FINK, H. Y OELERT GE. Guía para el cálculo de rentabilidad de proyectos de inversión para el abastecimiento de energía. GTZ. Eschborn, Alemania, S/E. 1985
2. FONTAINE ER. Evaluación Social de proyectos. 2da ed. Pontífica Universidad Católica de Chile. Santiago. 1988
3. ORTIZ R. Pequeñas centrales hidroeléctricas. Primera ed. McGraw Hill. Bogotá. 2001.
4. MINISTER OF NATURAL RESOURCES OF CANADA. Small Hydro Project. Cases study. S/E. Canadá. RETScreen International. Clean Energy Decision Support Centre. 2001-2004.
5. HUGES, ED. Electrical Technology. 2da. ed. Pennsylvania. Lognman. Año 1977
6. SAY,M.G. Electrical engineers referense books,13 th ed. 1973
7. DAWES,CH. Electrical industrial, Westinghouse Electric Corporation. East Pittsburg. 1978
8. EVANS, R. Electrical transmission and distribution reference book. 4th ed. Westinghouse Electric Corporation. East Pittsburgh. 1964.

ANEXOS

ANEXO I. Tablas de registro de caudales.

Dia: 12/05/2003		
	Caudal 1	15:28
N	Alturas (m)	ti(seg)
1	0,29	6
2	0,27	7
3	0,24	7
4	0,20	6
5	0,11	7
6	0,12	6,6 prom
7	0,09	
8	0,11	
9	0,09	
10	0,05	
11	0,05	
12	0,08	
Hi(m):	1,71	
b	1,30	
n	12	
S(m ²)	0,19	
d(m)	8,80	
t(seg)	6,60	
V(m/s)	1,33	
Q1	0,25	(m³/seg)
q1	247,58	(lit/seg)

Dia 13/05/2003		
	Caudal 2	10:47
N	Alturas (m)	ti(seg)
1	0,41	5
2	0,33	6
3	0,33	5
4	0,3	6
5	0,28	5
6	0,22	5,4 prom
7	0,20	
8	0,21	
9	0,22	
10	0,20	
11	0,15	
12	0,15	
13	0,12	
14	0,06	
15	0,05	
16	0,05	
Hi(m):	3,27	
b	1,70	
n	16	
S(m ²)	0,35	
d(m)	8,80	
t(seg)	5,40	
V(m/s)	1,63	
Q2	0,57	(m³/seg)
q2	566,54	(l/seg)

Día 14/05/2003		
	Caudal 3	10:45
N	Alturas (m)	ti(seg)
1	0,19	9
2	0,12	10
3	0,15	9
4	0,18	9
5	0,19	10
6	0,22	9,4
7	0,24	
8	0,25	
9	0,25	
10	0,26	
11	0,27	
12	0,30	
13	0,31	
14	0,32	
15	0,34	
16	0,34	
17	0,35	
18	0,36	
19	0,31	
20	0,32	
21	0,31	
22	0,28	
23	0,28	
Hi(m):	6,14	
b	2,40	
n	23	
S(m ²)	0,64	
d(m)	8,5	
t(seg)	9,4	
V(m/s)	0,90	
Q3	0,58	(m³/seg)
q3	579,73	(l/seg)

Lugar: BS-50 Taisha Río Unupi

Fecha: Mayo 2003

ANEXO I. Tabla de registro de caudales (continuación)

Día	27/05/2003		Día	29/05/2003		Día	30/05/2003	
	Caudal 4	15:30		Caudal 5	10:35		Caudal 6	15:00
N	Alturas (m)	ti(seg)	N	Alturas (m)	ti(seg)	N	Alturas (m)	ti(seg)
1	0,02	6	1	0,2	9	1	0,02	6
2	0,07	7	2	0,11	10	2	0,07	7
3	0,065	7	3	0,16	9	3	0,06	7
4	0,09	6	4	0,19	9	4	0,09	6
5	0,07	7	5	0,19	10	5	0,07	7
6	0,09	6,6 prom	6	0,22	9,4	6	0,09	6,6 prom
7	0,15		7	0,24		7	0,15	
8	0,18		8	0,25		8	0,18	
9	0,22		9	0,25		9	0,22	
10	0,19		10	0,26		10	0,19	
11	0,25		11	0,27		11	0,25	
12	0,19		12	0,30		12	0,19	
13	0		13	0,30		13	0,1	
14	0		14	0,31		14	0	
15	0		15	0,34		15	0	
16	0		16	0,34		16	0	
17	0		17	0,35		17	0	
18	0		18	0,36		18	0	
19	0		19	0,31		19	0	
20	0		20	0,32		20	0	
21	0		21	0,31		21	0	
22	0		22	0,27		22	0	
23	0		23	0,29		23	0	
Hi(m):	1,59		Hi(m):	6,16		Hi(m):	1,69	
b	1,30		b	2,40		b	1,30	
n	120		n	23		n	13	
S(m ²)	0,17		S(m ²)	0,64		S(m ²)	0,17	
d(m)	8,50		d(m)	8,50		d(m)	8,50	
t(seg)	6,60		t(seg)	9,40		t(seg)	6,60	
V(m/s)	1,29		V(m/s)	0,90		V(m/s)	1,29	
Q4	0,22	(m³/seg)	Q5	0,58	(m³/seg)	Q6	0,22	(m³/seg)
q4	221,14	(l/seg)	q5	581,61	(l/seg)	q6	218,04	(l/seg)

Lugar: BS-50 Taisha, río Unupi

Fecha: Mayo 2003

ANEXO II. Características de construcción de canales de conducción.

Talud recomendado para canales de sección trapezoidal

Talud recomendado para canales de sección trapezoidal	
Material	Talud (Z = Cotan θ)
Arena	3.0
Arena y greda	2.0
Greda	1.5
Greda y arcilla	1.0
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Velocidad máxima del agua recomendada

Velocidad máxima del agua recomendada		
Material	Velocidad máxima ($\frac{m}{s}$)	
	Menos de 0.3 m de profundidad	Menos de 1.0 m de profundidad
Arena	0.3	0.5
Greda arenosa	0.4	0.7
Greda	0.5	0.8
Greda de arcilla	0.6	0.9
Arcilla	0.8	2.0
Mampostería	1.5	2.0
Concreto	1.5	2.0

Fuente: Manual de microcentrales hidroeléctrica. Página 83

ANEXO II. Características de construcción de canales de conducción (continuación)

Coefficiente de rugosidad (n) para varios materiales de construcción para canales

Coefficiente de rugosidad "n"	
Canales de tierra	n
Arcilla	0.0130
Material sólido, suave	0.0167
Arena con algo de arcilla o roca partida	0.0200
Fondo de arena y grava, con lados empedrados	0.0213
Grava fina de unos 10/20/30 mm	0.0222
Grava regular, de unos 20/40/60 mm	0.0250
Grava gruesa, de unos 50/100/150 mm	0.0286
Greda en terrones	0.0333
Revestido con piedras	0.0370
Arena, greda, grava y hierbas	0.0455
Canales en roca	
Roca medianamente irregular	0.0370
Roca irregular	0.0455
Roca muy irregular con muchas salientes	0.0588
Mampostería de piedra con cemento	0.0200
Paredes de mampostería con base de arena y grava	0.0213
Canales de concreto	
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200
Canales de madera	
Tablas cepilladas y bien unidas	0,0111
Tablas sin cepillar	0.0125
Canales viejos de madera	0.0149
Cursos Naturales de agua	
Lecho natural de río con fondo sólido, sin irregularidades	0.0244
Lecho natural del río, con hierbas	0.0313
Lecho natural del río con piedras e irregularidades	0.0333
Torrente con piedras irregulares grandes, lecho sedimentado	0.0385
Torrente con piedras gruesas, con bastante sedimento	0.0500

Fuente: Manual de microcentrales hidroeléctricas. Pagina 84, ITDG-Lima Perú

Características de las secciones transversales

Características de las secciones transversales		
Tipo de sección transversal	Perímetro Mojado (P)	Base Mayor (W)
Rectangular	$B + 2H$	B
Trapezoidal	$B + 2H\sqrt{1+z^2}$	$B + 2HZ$
Triangular	$2 H \sqrt{1 + z^2}$	$2HZ$

Velocidades mínimas recomendadas para evitar sedimentación

Velocidades mínimas recomendadas para evitar sedimentación	
Calidad del agua	Velocidad mínima ($\frac{m}{s}$)
Con sedimentos finos	0.3
Con arena	0.5

ANEXO III. Propiedades y características de tuberías de presión.

Propiedades físicas de los materiales para tuberías

Material	Módulo de Young (GN/m ²)	Coef. exp. lineal (m/m°C)	Esfuerzo de rotura (MN/m ²)	Densidad kN/m ³
Acero bajo %C	207	12 x 10 ⁶	350	78.6
PVC	2.75	54 x 10 ⁶	28	14
Polietileno	0.19-0.78	140 x 10 ⁶	5.9-8.8	9.4
Hierro dúctil	170	11 x 10 ⁻⁶	310-520	70

Coefficientes de pérdidas en curvas

Coefficientes de pérdidas en curvas				
Angulo	r/d			
	1	2	3	5
20°	0.36	0.25	0.20	0.15
45°	0.45	0.38	0.30	0.23
90°	0.60	0.50	0.40	0.30

Coefficientes de pérdidas en contracciones

Coefficientes de pérdidas en contracciones					
d1/d2	1	1.5	2	2.5	5
K	0	0.25	0.35	0.40	0.50

ANEXO III. Propiedades y características de tuberías de presión (continuación).

Valores de rugosidad absoluta (K) en mm

Material	Estado		
	Bueno	Normal	Malo
Tuberías lisas PVC		0.003	
Polietileno		0.003	
Resina de Poliester con fibra de vidrio		0.003	
Concreto	0.6	0.15	0.6
Acero Comercial			
- no pintadas	0.015	0.03	0.06
- pintadas	0.03	0,06	0.15
- galvanizadas	0.06	0.15	0.3

Valores de rugosidad absoluta (K) en mm (continuación)

Material	Estado		
	Bueno	Normal	Malo
Hierro fundido			
- nuevas	0.015	0.3	0.6
- viejas:			
corrosión leve	0.6	1,5	3.0
corrosión moderada	1.5	3,0	6.0
corrosión severa	6	15	30

Fuente: ASTM A53/A53M 05A - Standard Specification for Pipe, PVC, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless

ANEXO IV. Cálculo Del coeficiente de pérdidas por fricción por el diagrama de Moody

Este diagrama se usa para hallar la pérdida de carga producida por fricción a lo largo de las paredes internas de una tubería. Como se aprecia, el diagrama sólo se aplica al agua en tuberías y no a otros fluidos, y únicamente si la tubería está llena. La rugosidad (K) de la pared interior de una tubería se expresa en términos de la profundidad de las irregularidades en la superficie (se les puede imaginar como granos de arena pegados a la superficie interna de una tubería). Una tubería de acero que no haya sido pintada interiormente durante varios años tendrá aproximadamente un valor de rugosidad absoluta de 0.5 mm (equivalente a granos de arena de 0.5 mm de diámetro). "d" es el diámetro interior de la tubería (L).

Para usar este diagrama primero hay que calcular la rugosidad relativa, cerciorándose de que "d" (el diámetro interior de la tubería) y K (la rugosidad) estén en las mismas unidades. Por ejemplo, si la rugosidad absoluta es 0.5 mm y el diámetro interno de una tubería es de 0.25 m, K/d es 0.5/250 mm/mm.

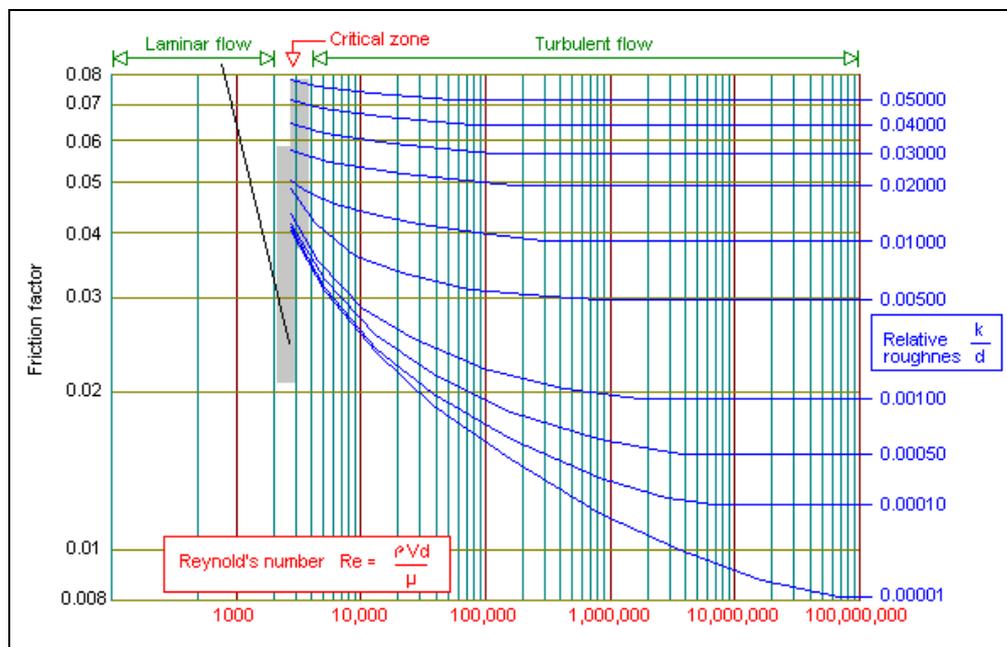


Fig 3.54 Diagrama de Moody

Calcular luego $1.27 Q/d$ en unidades ISO. (Q en m^3/s y d en m). Luego, leer el factor de fricción f en el diagrama. Si d es 250 mm, Q es 300 l/s, y K es 0.5 mm; luego $1.27 Q/d$ será 1.524, K/d es 0.002, y f es 0.0236. Ahora se podrá calcular la pérdida de

carga por fricción conociendo la longitud total de la tubería (L).

$$hf = 0.08 \frac{f \times L \times Q^2}{d^5}$$

Donde:

f : factor de fricción. **L**: longitud de tubería (m). **Q**: caudal m³/s. **d**: diámetro (m)

En vista de que las tuberías se fabrican en dimensiones estándar y en espesores que dependen de la presión a soportar, es conveniente consultar a los fabricantes, quienes suelen brindar esta información a pedido del cliente.

ANEXO V. Dimensiones estándar para tuberías de acero y pvc

Dimensiones y características de tuberías de PVC rígido

Instalaciones para fluidos a presión								
Diámetro nominal (ASTM)	Diámetro exterior (mm)	Clase 15 (215) RDE-14.3 Espesor (mm)		Clase 10 (145) RDE-21 Espesor (mm)		C-7.S (108m) RDE-27.7 Espesor (mm)	C-S (72) RDE-41 Espesor (mm)	Largo m
		EC	R	EC	R	EC	EC	
1/2"	21	1.8	3.0	1.8	2.5	--	--	5
3/4"	26.5	1.8	3.3	1.8	2.8	--	--	5
1"	33	2.3	4.1	1.8	3.4	--	--	5
1 1/4"	42	2.9	4.7	2.0	3.8	1.8	--	5
1 1/2"	4B	3.3	5.1	2.3	4.1	1.8	--	5
2"	60	4.2	6.0	2.9	4.7	2.2	1.8	5
2 1/2"	73	5.1	3.5	3.5	--	2.6	1.8	5
3"	88.5	6.2	--	4.2	--	3.2	2.2	5
4"	114	8.0	--	5.4	--	4.1	2.8	5
6"	168	11.7	--	8.0	--	6.1	4.1	5
8"	219	15.3	--	10.4	--	7.9	5.3	5
10"	273		--	13.0	--	9.9	6.7	5
12"	323	--	--	15.4	--	11.7	11.7	5

Dimensiones y características de tuberías de acero

Serie 1 (Standar)							
Diámetro interior nominal	Diámetro exterior		Espesor de pared (mm)	Peso convencional		Presión de prueba	
	Máx.	Mín.		Extremos	Planos	(Kg/cm ²)	(Lbs/plg ²)
	(mm)	(mm)		(Kg/m)	(Lb/pie)		
1/4"	13.9	13.2	2.00	0.573	0.385	50.0	710
3/8"	17.4	16.7	2.00	0.747	0.502	50.0	710
1/2"	21.7	21.0	2.35	1.100	0.737	50.0	710
3/4"	27.1	26.4	2.35	1.410	0.948	50.0	710
1"	34.0	33.2	2.90	2.840	1.910	50.0	710
1.1/4"	42.7	41.9	2.90	2.840	1.910	50.0	710
1.1/2"	48.6	47.8	2.90	3.260	2.190	50.0	710
2"	60.7	59.6	3.25	4.560	3.060	50.0	710
2.1/2"	76.3	75.2	3.25	5.810	3.900	50.0	710
3"	89.4	87.9	3.65	7.650	5.140	50.0	710
4"	114.9	113.0	4.05	11.000	7.390	50.0	710

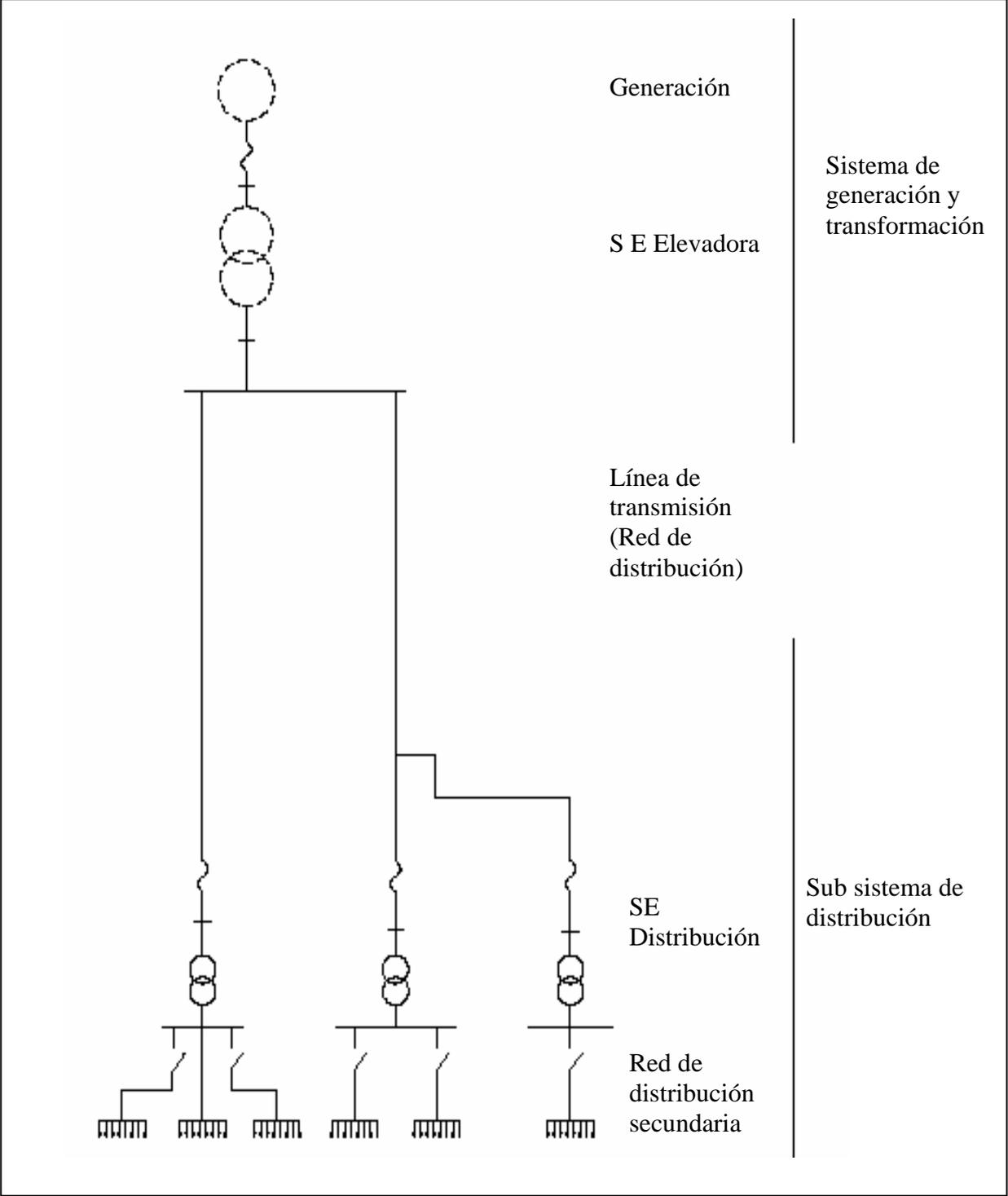
ANEXO V. Dimensiones estándar para tuberías de acero y pvc (continuación)

Dimensiones y características de tuberías de acero (continuación)

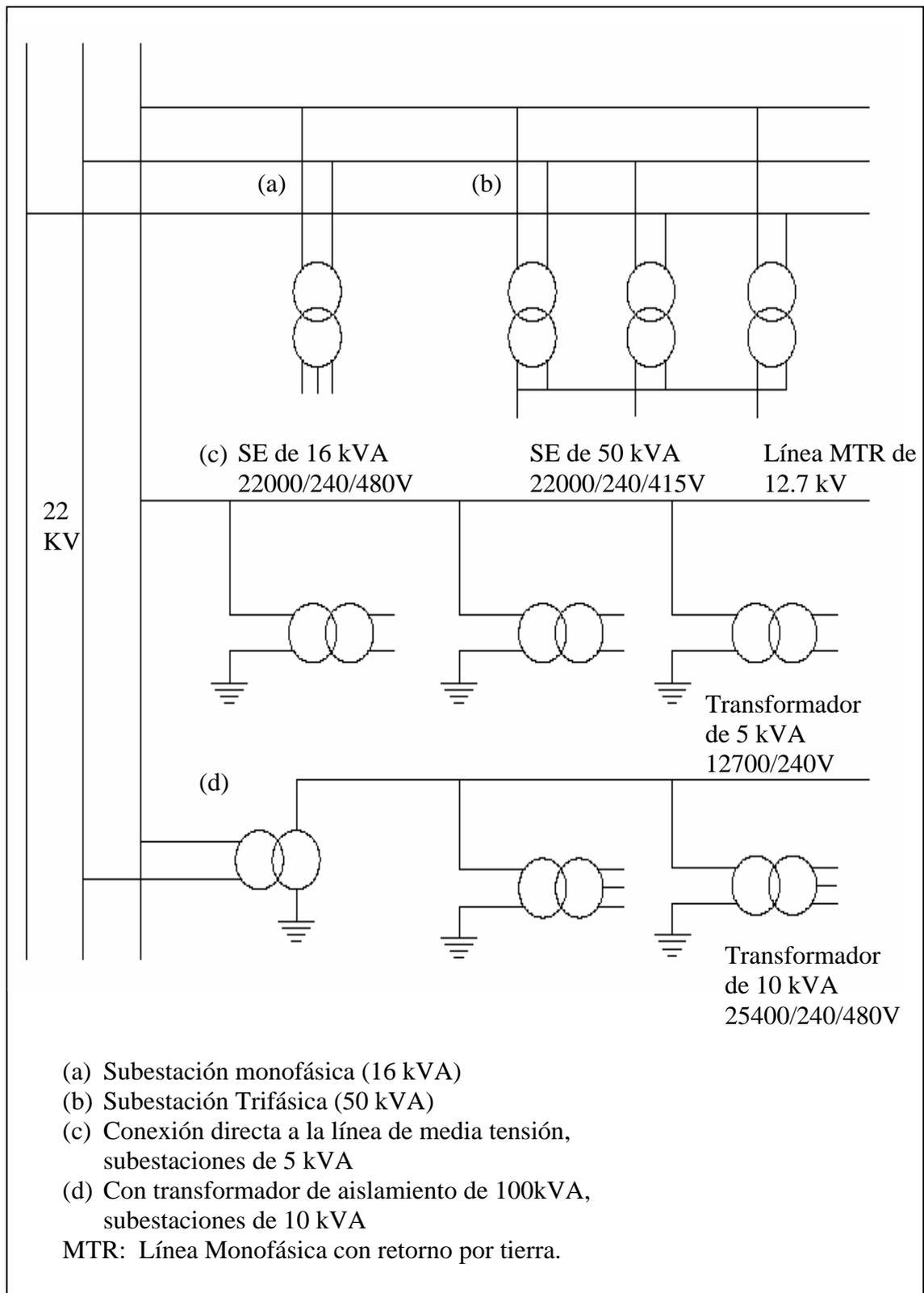
Serie Medium (semi-pesados)							
Diámetro interior nominal	Diámetro exterior		Espesor de pared	Peso convencional		Presión de prueba	
	Máx.	Mín.		Extremos	Planos		
	(mm)	(mm)		(mm)	(Kg/m)	(Lb/pie)	(Kg/cm ²)
3/8"	17.5	16.7	2.35	0.852	0.573	50.0	710
1/2"	21.8	21.0	2.65	1.220	-.822	50.0	710
3/4"	27.3	26.5	2,65	1.580	1.060	50.0	710
1 "	34.2	33.3	3.25	2.440	1.640	50.0	710
1.1/4"	42.9	42.0	3.25	3.140	2.110	50.0	710
1.1/2"	48.8	47.9	3.25	3.610	2.430	50.0	710
2"	60.8	59.7	3.65	6.510	4.380	50.0	710
2.1/2"	76.7	75.3	3.65	6.510	4.380	50.0	710
3"	89.5	88.0	4.05	8.470	5.690	50.0	710
4"	115.0	113.1	4.50	12.100	8.140	50.0	710
5"	140.8	138.5	4.85	16.200	10.900	50.0	710
6"	166.5	163.9	4.85	19.200	12.900	50.0	710

Fuente: ASTM A53/A53M 05A - Standard Specification for Pipe, PVC, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless

ANEXO VI. Esquema eléctrico de la línea de transmisión y las redes de distribución



ANEXO VII. Esquemas típicos para subtransmisión y distribución



ANEXO VIII. Características de las líneas de transmisión.

Tensiones de líneas y redes de distribución

Tensiones de líneas de transmisión y redes de distribución primaria recomendadas por la NEMA	
Tensión Nominal	Tensión más Elevada
(kV)	(kV)
3	3,6
6	7,2
10	12,0
15	17,5
20	24,0

Máxima caída de tensión permisible en líneas de transmisión y distribución primaria

Máxima caída de tensión permisible en líneas de transmisión y distribución primaria	
Alimentador urbano	3.5%
Alimentador rural	6%

ANEXO IX. Conductores usados para electrificación rural.

Usos	Características de los conductores	Calibre (mm ²)	No de hilos
Líneas de transmisión, en 10 kV o tensiones superiores.	Aleación de aluminio		
	Cobre de alta pureza, (99.9%) refinado	6	7
	electrolíticamente,	10	7
	temple duro, desnudo. Normas de fabricación: ASTM-B8	16 25	7 7
Redes de distribución primaria en general, con tensiones de 10 kV o menos.	Cobre de alta pureza (99.9%) refinado	6	7
	electrolíticamente,	10	7
	temple duro, desnudo.	16	7
	Normas de fabricación: ASTM-B8	25	7
Redes de distribución secundaria en general, con tensiones de 2200 Va 380/220 V.	Cobre de alta pureza (99.9%) refinado	6	1
	electrolíticamente,	10	1
	temple duro, o semiduro.	16	1
	Especificación es ASA-CS-35		

ANEXO X. Dimensiones normalizadas de postes de madera para uso en redes de distribución aérea

Clase	Grupo	Diámetro en la punta (mm)	Longitud total (m)	8*	9*	10*	11*	12	13	14	15
Carga de rotura Kg.			Longitud de tratamiento (m)	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
1	A	175	Diámetro mínimo de empotramiento (m)	235	268	277	286	296	305	312	322
	B	184		264	277	286	299	308	318	324	334
	C	194		274	283	302	315	324	334	344	350
	D	203		296	312	321	334	344	356	366	372
2040	E	216		319	334	347	359	372	382	394	404
2	A	168		239	248	255	267	277	268	235	299
	B	175		248	261	270	280	289	296	303	312
	C	181		261	274	283	293	302	312	321	326
	D	191		277	290	302	312	324	334	340	350
1680	E	200		299	312	324	357	350	359	389	379
3	A	159		223	233	243	251	258	267	273	280
	B	165		239	242	251	261	267	277	283	293
	C	171		245	235	264	273	285	293	299	305
	D	176		258	271	283	293	302	312	318	326
1360	E	191		250	293	302	315	324	334	344	333
4	A	143		207	217	256	232	238	248	254	261
	B	149		213	226	232	242	349	258	264	271
	C	156		226	236	245	254	264	270	277	288
	D	162		242	252	261	270	280	289	296	302
1090	E	171		261	271	283	293	302	312	318	323
5	A	130	191	201	207	216	223	229	235	239	
	B	136	197	207	216	223	229	239	245	251	
	C	143	210	220	226	235	242	251	259	264	
	D	149	223	233	242	251	258	267	273	280	
860	E	159	238	252	261	270	280	286	298	302	

ANEXO X. Dimensiones normalizadas de postes de madera para uso en redes de distribución aérea (continuación).

Clase	Grupo	Diámetro en la punta (mm)	Longitud total (m)	8*	9*	10*	11*	12	13	14	15
Carga de rotura Kgs.			Longitud de tratamiento (m)	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
6	A	108	Diámetro mínimo de empotramiento (m)	175	185	191	197	203	210	216	223
	B	114		185	191	200	207	213	219	226	232
	C*	121		194	204	210	216	226	232	239	243
	D*	127		207	217	223	232	238	245	251	250
680	E	136		223	233	242	251	250	264	273	280
7	A	101		166	172	178	184	191	187	200	210
	B	108		172	176	184	191	197	203	210	218
	C*	114		1 B1	188	197	203	210	216	223	226
	D*	121		191	201	207	216	223	229	235	242
550	E	127		207	217	226	232	242	248	254	261
8	A	92		152	159	168	172	170			
	B	98		159	169	175	181	184			
	C	108	169	175	164	191	197				
	D	114	178	133	194	200	207				
450	E	121	194	201	210	216	226				
9	A	86	140	147							
	B	89	145	135							
	C	95	152	139							
	D	105	162	172							
340	E	114	175	188							
Esfuerzo de flexión por grupo (Kg/cm ²)	A	>800									
	B	701-600									
	C	601-700									
	D	501-600									
	E	400-500									

* Clases, grupos y alturas de postes que se encuentran normalmente en el mercado

ANEXO XI. Características de conductores

Propiedades de alambres de cobre desnudo

Temple duro y blando						
Características			Temple blando		Temple duro	
Calibre del conductor mm ²	Diámetro nominal mm	Peso kg/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km
0.5	0.8	4.47	13.6	34.3	23	35.7
0.75	0.97	6.57	20	23.3	33.8	24.3
1	1.13	8.92	27.1	17.2	45.9	17.9
1.5	1.38	13.3	40.4	11.5	67.8	12
2.5	1.78	22.1	67.2	6.93	112.7	7.21
4	2.25	35.4	107.4	4.34	178.1	4.51
6	2.76	53.2	155.6	2.88	262	3
10	3.57	89	260.3	1.72	433.4	1.79
16	4.5	141	413.5	1.08	664.8	1.13

Propiedades de cables de cobre desnudo

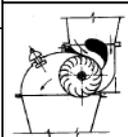
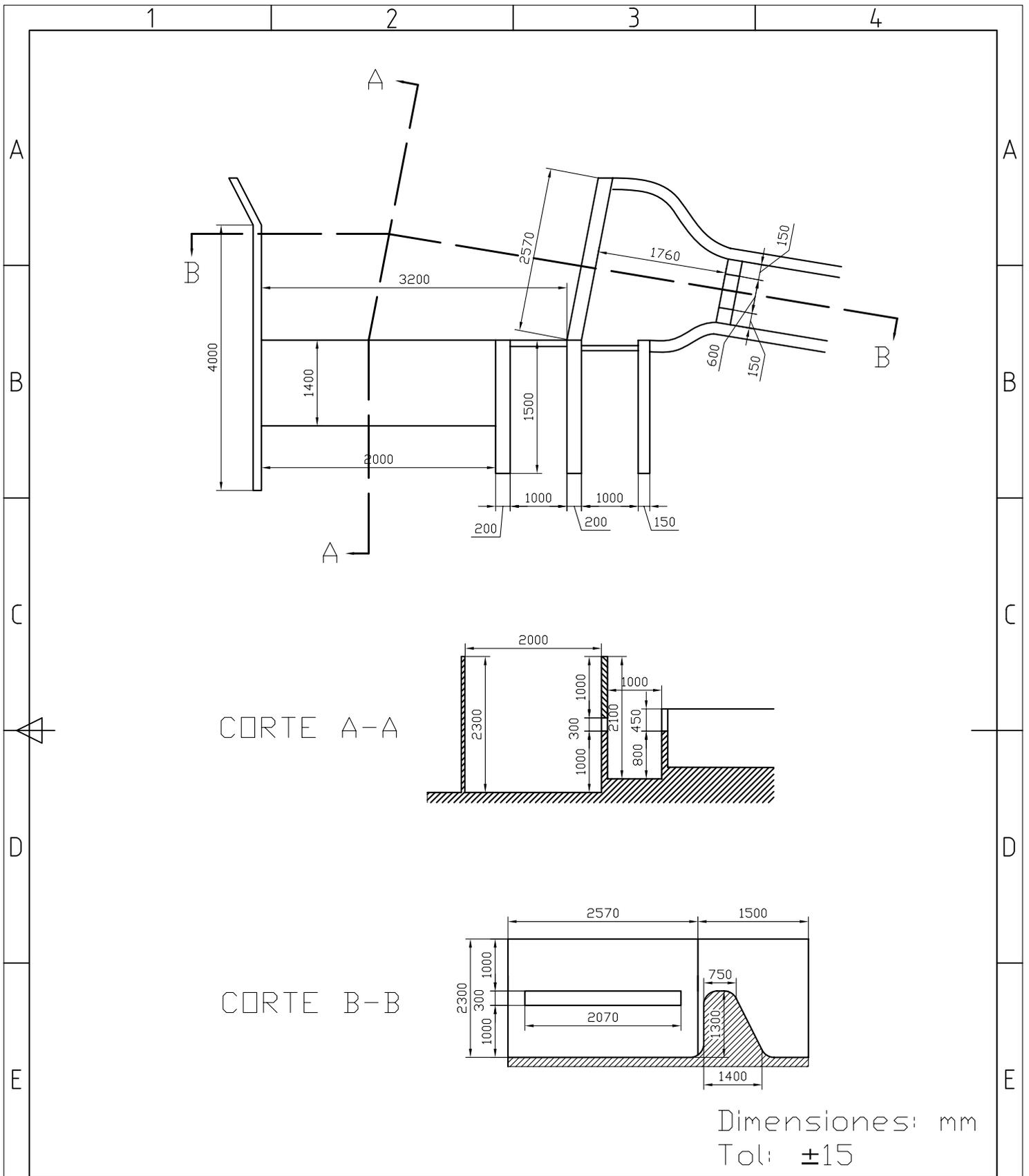
Temple duro y blando								
Características					Temple blando		Temple duro	
Calibre del conductor Mm ²	No de hilos	Diámetro nominal mm	Diámetro del cable mm	Peso Kg/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km
6	7	1.04	3.12	54	1.46	3.08	2.45	3.14
10	7	1.35	4.05	91	2.45	1.83	4	1.87
16	7	1.7	5.1	144	3.89	1.15	6.36	1.17
25	7	2.14	6.42	228	6.17	0.727	9.95	0.741
35	7	2.52	7.56	317	8.55	0.524	13.6	0.534
50	7	3.02	9.06	455	12.3	0.387	19.4	0.395
50	19	1.78	8.9	429	11.6	0.387	18.9	0.395
70	19	2.14	10.7	620	16.7	0.268	27	0.273
95	19	2.52	12.6	859	23.2	0.193	37.1	0.197
120	19	2.85	14.25	1099	29.7	0.153	47.9	0.156
150	37	2.25	15.75	1334	36	0.124	58.1	0.126
185	37	2.52	17.64	1673	45.2	0.0991	72.2	0.101
240	37	2.85	19.95	2140	57.8	0.0754	91,1	0.0769

Propiedades de cables de cobre desnudo (continuación)

Temple duro y blando								
Características					Temple blando		Temple duro	
Calibre del conductor Mm ²	No de hilos	Diámetro nominal mm	Diámetro del cable mm	Peso Kg/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km	Carga de rotura kg f	Resistencia nominal C.C. a 20°C ohm/km
240	61	2.25	20.25	2199	59.4	0.0754	95.8	0,0769
300	61	2,52	22.68	2759	74.5	0.0601	119	0.0613
400	61	2.85	25.65	3529	95.3	0.047	150.2	0.0479
500	61	3.2	28.8	4449	120.2	0.0366	189.4	0.0373

Conductores forrados

Calibre del conductor AWG·MCM	Sección transversal	Número de hilos mm ²	Diámetro nominal de los hilos mm	Diámetro del conductor mm	Espesor de aislamiento mm	Diámetro exterior mm	Peso kg/km
14	2.08	1	1.628	1.63	0.8	3.3	25
12	3.31	1	2.052	2.05	0.8	3.7	36
10	5.26	1	2.588	2.59	0.8	4.2	55
8	8.37	1	3.264	3.26	0.8	4.9	84
8	8.37	7	1.234	3.7	0.8	5.3	88
6	13.3	7	1.555	4.67	0.8	6.3	135
4	21.15	7	1.961	5.88	0.8	7.5	210
2	33.63	7	2.474	7.42	1.2	9.9	340
1	42.41	7	2.776	8.33	1.2	10.8	423
1/0	53.31	19	1.892	9.46	1.6	12.7	540
2/0	67.44	19	2.126	10.63	1.6	13.9	674
3/0	85.02	19	2.388	11.94	1.6	15.2	841
4/0	107.2	19	2.68	13.4	1.6	16.6	1051
250	126.7	37	2.088	14.62	1.6	17.8	1236
300	125	37	2.288	16	1.6	19.2	1473



Proyecto
Hidroeléctrico
Unipi

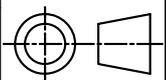
Fecha
9 de Abril del 2006

Diseñado por
Omar Sánchez Luis Mancero

Firmas

Material
HORMIGON

Calidad
CICLOPIO



Unidades
MILIMETROS

Escala
SCALE

Hoja
1/1

Revisado por
Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus

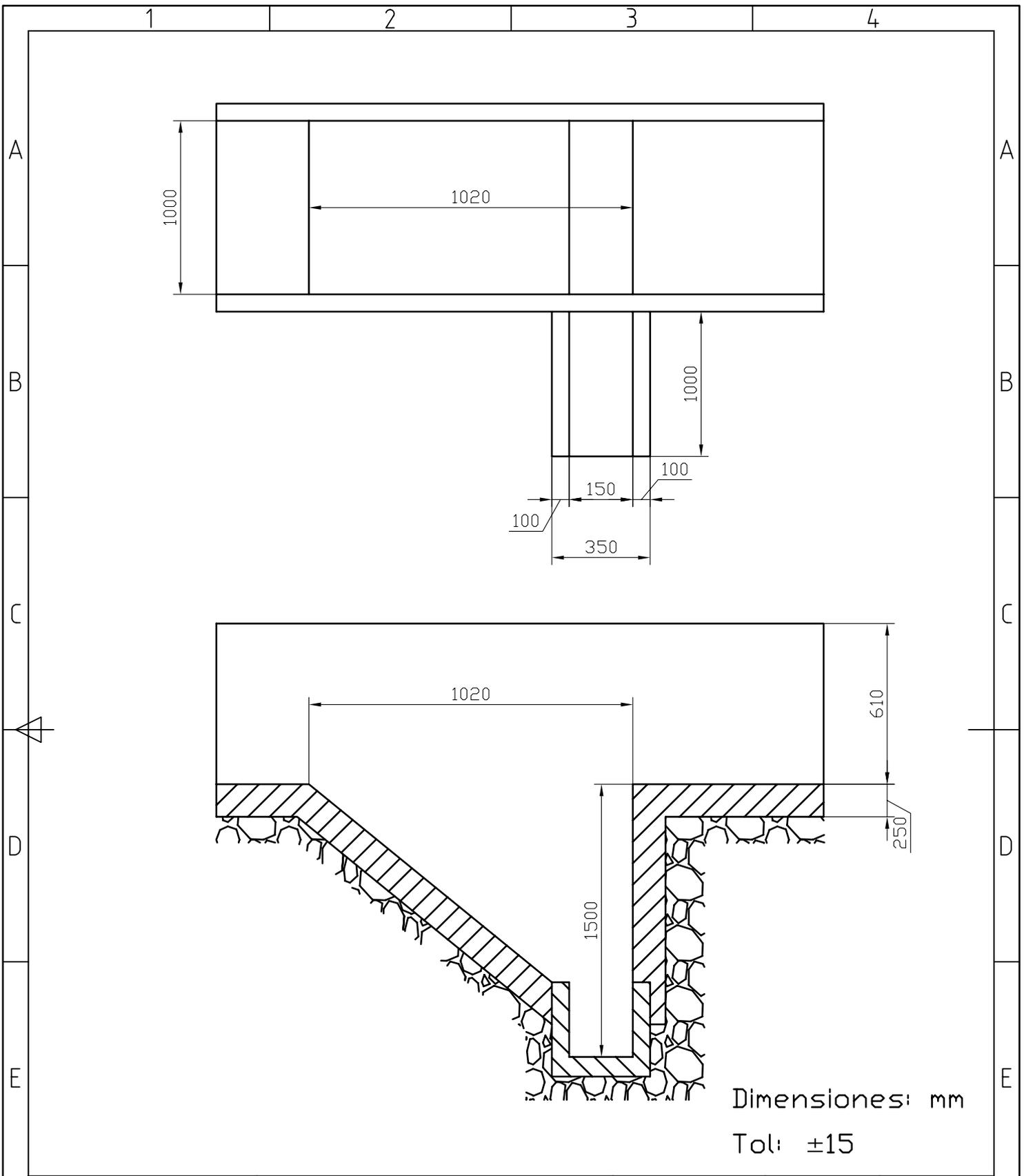
Código
BS50 BARRJ01

Aprobado
Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus

PROYECTO DE GRADO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO

ANEXO No XII



Proyecto
Hidroeléctrico
Unupi

Fecha
9 de Abril del 2006

Diseñado por
Omar Sánchez Luis Mancero

Firmas

Material
HORMIGON

Calidad
CICLOPIO



Escala
SCALE

Hoja
1/1

Revisado por
Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus

Unidades
MILIMETROS

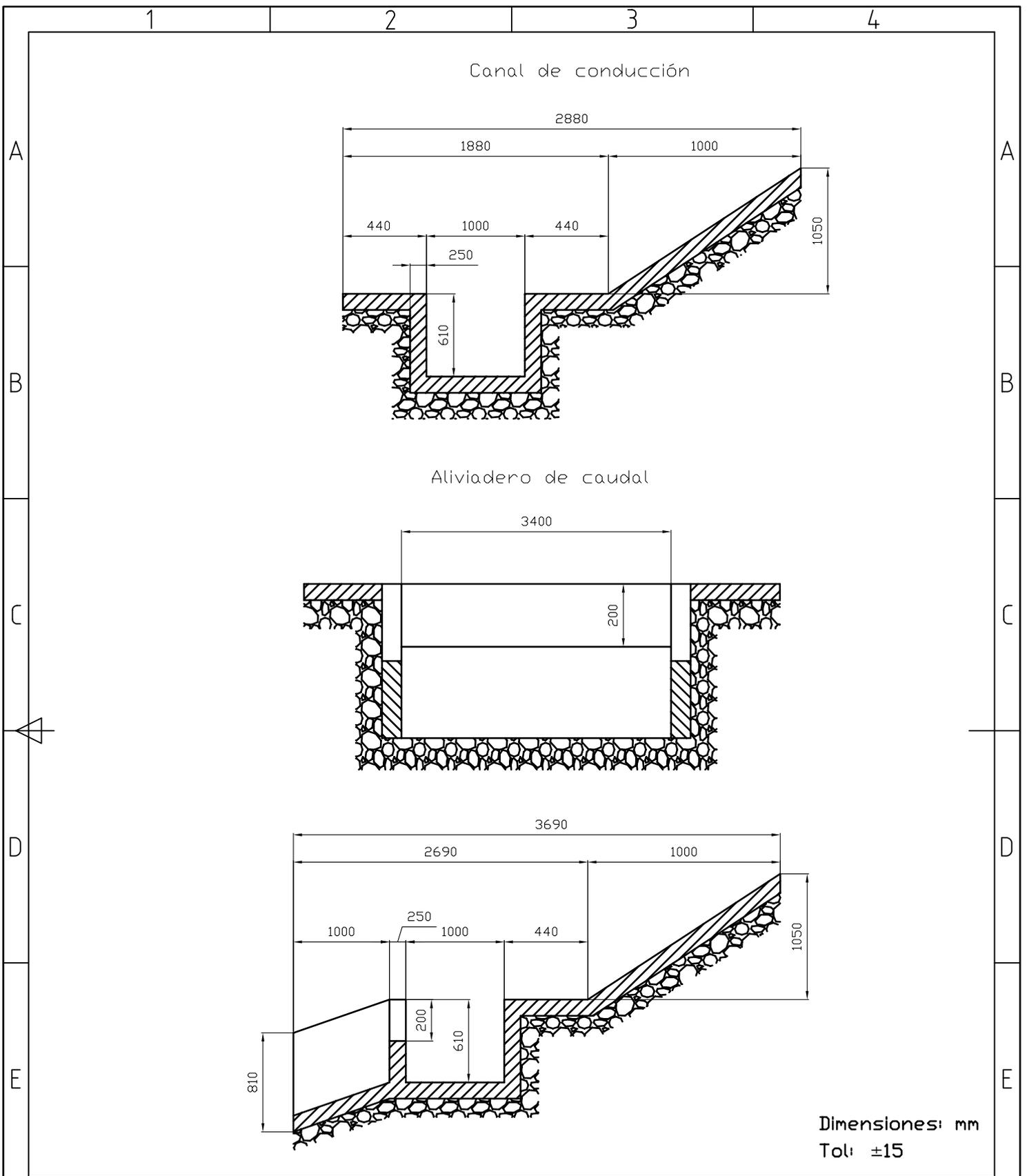
Código
BS50 DSRDOR01

Aprobado
Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus

PROYECTO DE GRADO

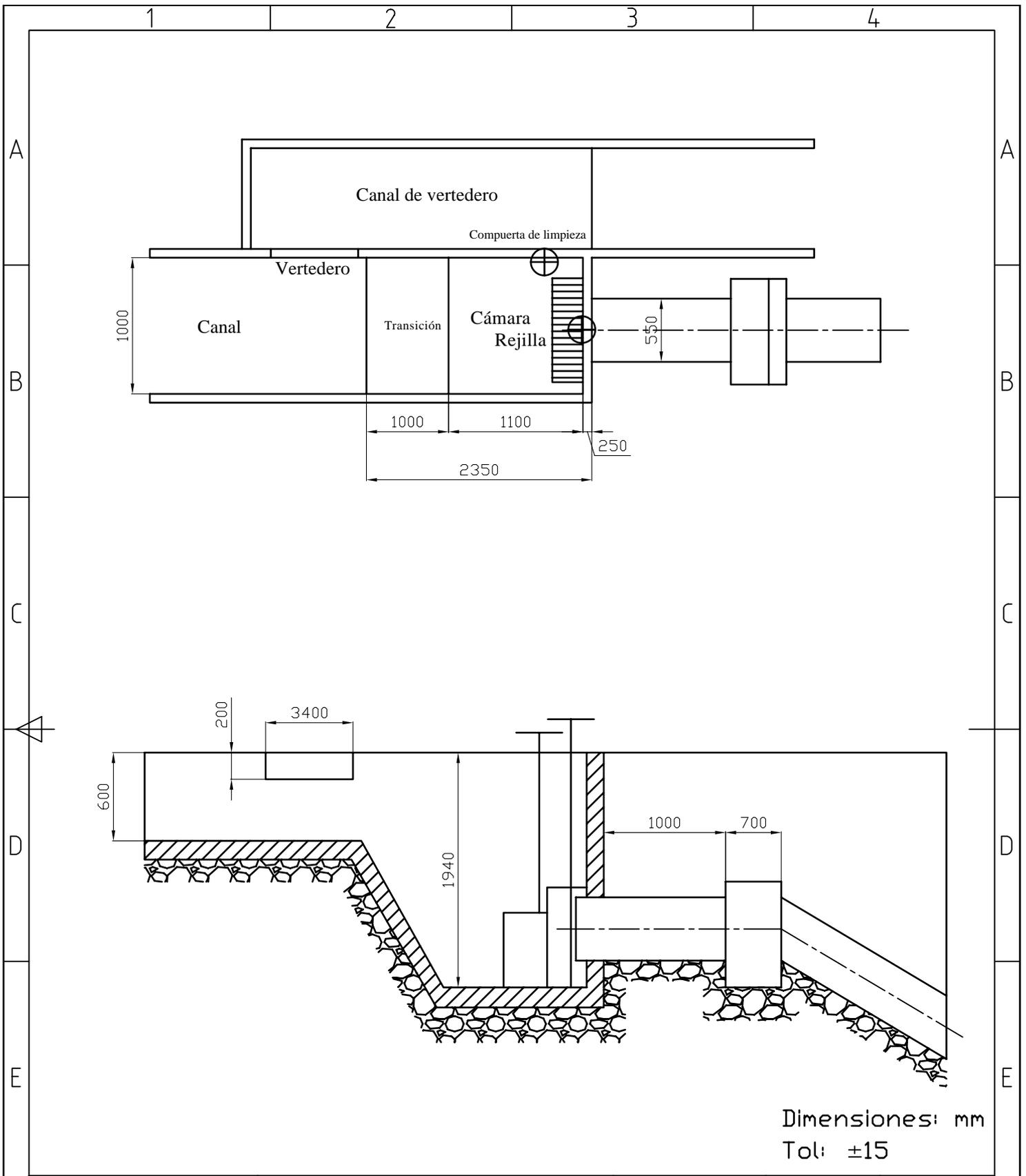
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO

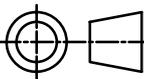
ANEXO No XIII



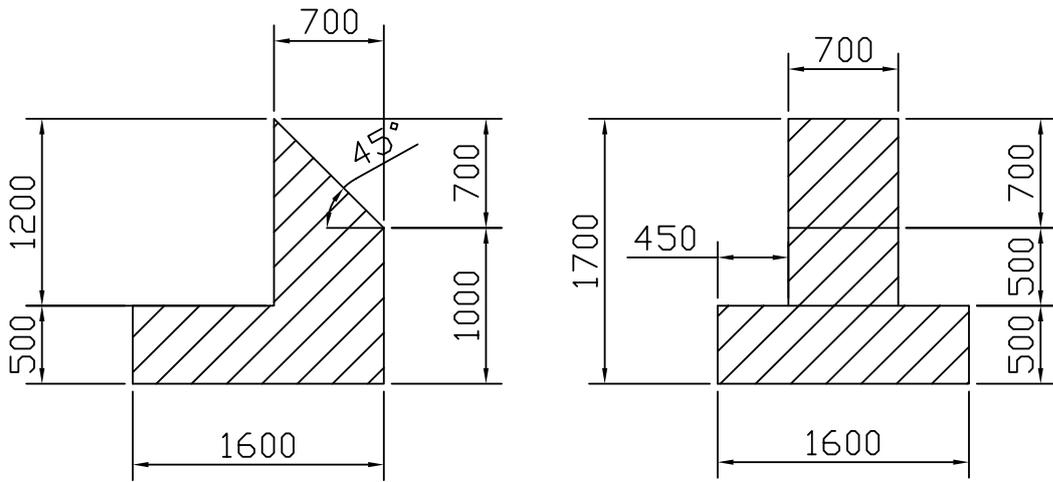
Dimensiones: mm
Tol: ±15

	Proyecto Hidroeléctrico Unupi		Fecha 9 de Abril del 2006	Firmas	Material HORMIGON	
	Escala SCALE	Hoja 1/1	Diseñado por Omar Sánchez Luis Mancero		Calidad CICLOPIO	
Código BS50 CNLALV01		Revisado por Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus		Unidades MILIMETROS	PROYECTO DE GRADO	
		Aprobado Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus			ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO	
					ANEXO No XIV	
1					4	

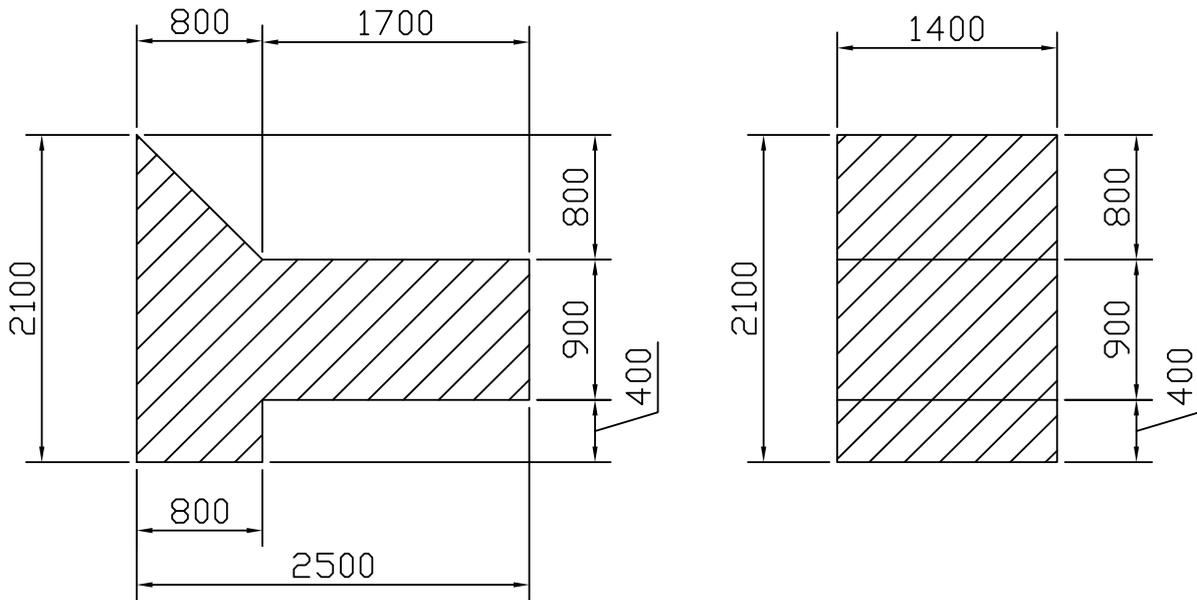


	Proyecto Hidroeléctrico Unupi	Fecha 9 de Abril del 2006	Firmas	Material HORMIGON	
	Escala SCALE 1/1	Hoja 1/1	Diseñado por Omar Sánchez Luis Mancero	Calidad CICLOPIO	
Código BS50 CAMCAR01	Revisado por Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Aprobado Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Unidades MILIMETROS	PROYECTO DE GRADO	
ESCUELA_POLITECNICA_DEL_EJERCITO			ANEXO No XV		

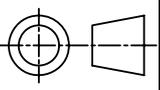
Apoyos

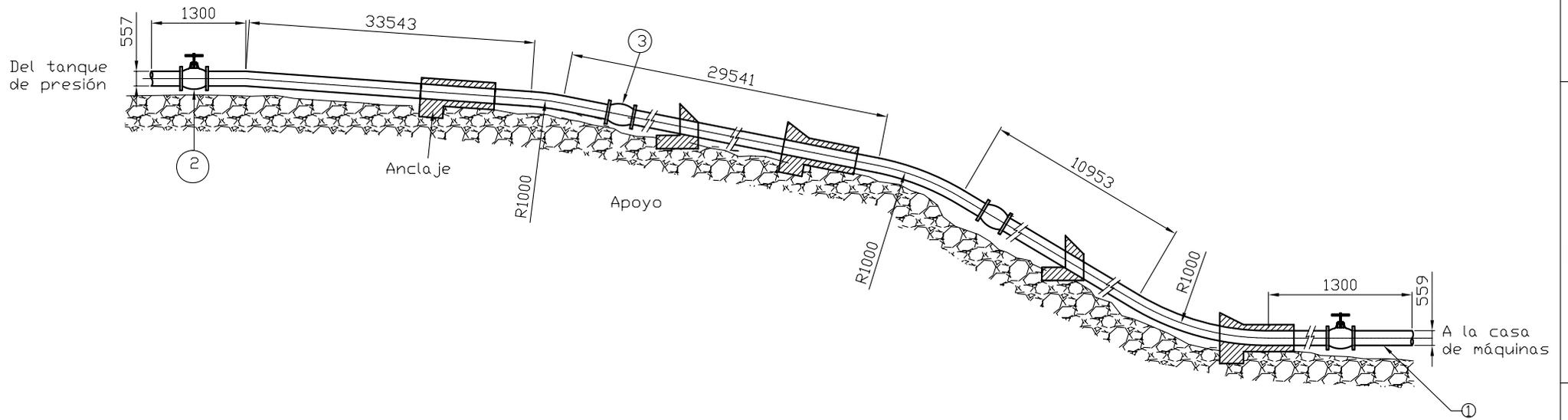


Anclajes

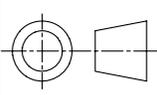


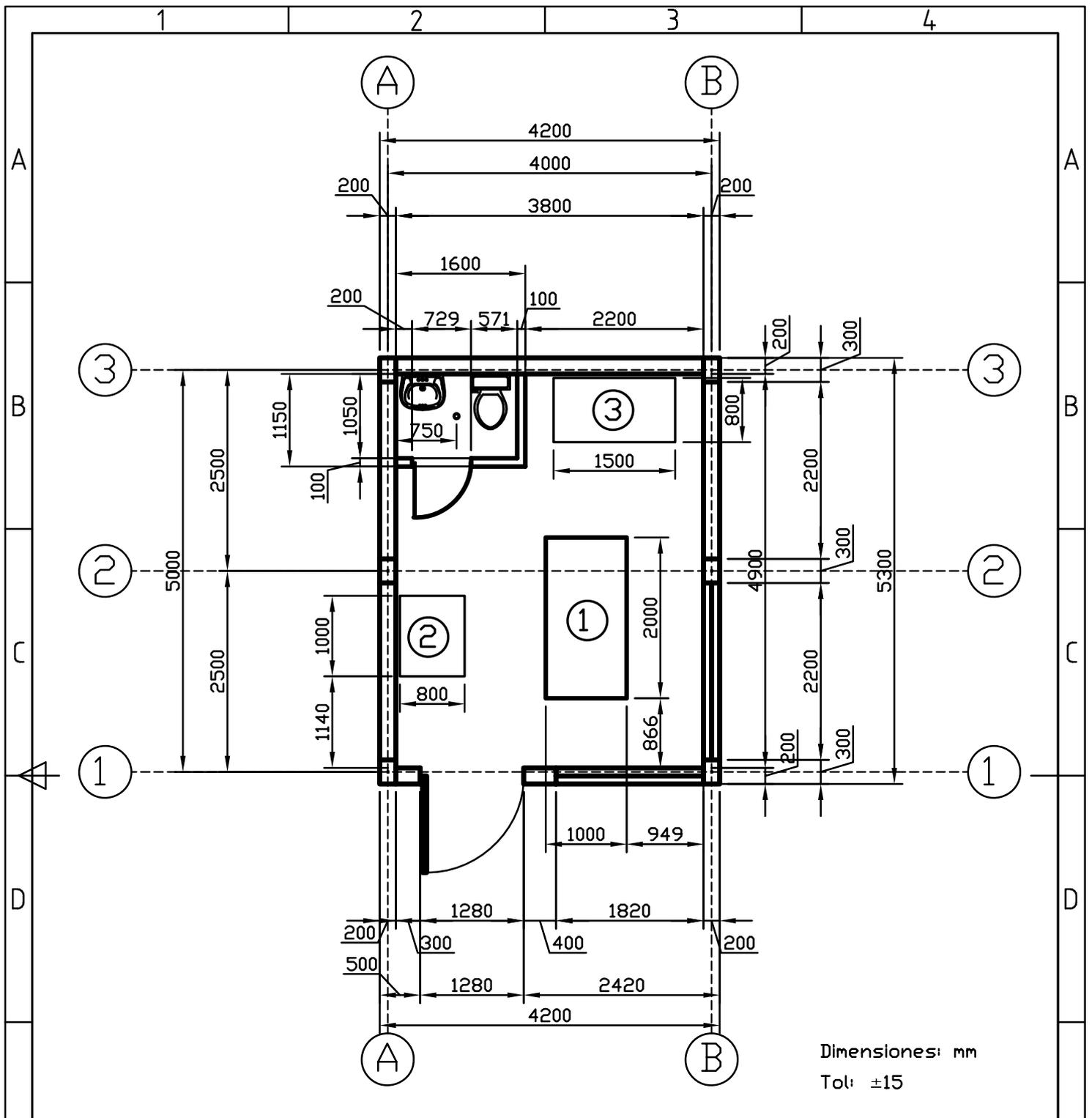
Dimensiones: mm
Tol: ±15

	Proyecto Hidroeléctrico Unupi	Fecha 9 de Abril del 2006	Firmas	Material HORMIGON	
	Escala SCALE	Hoja 1/1	Diseñado por Omar Sánchez Luis Mancero		
		Revisado por Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus		Unidades MILIMETROS	
Código BS50 APYANCJ01		Aprobado Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus		PROYECTO DE GRADO	
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO				ANEXO No XVI	



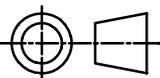
3	Junta de expansión	Acero	D 558
2	Valvula de cierre	Hierro fundido	D 558
1	Tubería de presión	PVC	D 558
No	Descripción	Material	Dimensiones
Proyecto Hidroeléctrico Unupi		Fecha 9 de Abril del 2006	Firmas
		Diseñado por Omar Sánchez Luis Mancero	Material PVC
Escala SCALE	Hoja 1/1	Revisado por Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Calidad
Código BS50 TBP01		Aprobado Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Unidades MILIMETROS
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO			PROYECTO DE GRADO
			ANEXO No XVII





Dimensiones: mm
Tol: ±15

3	Armario de herramientas y repuestos	Acero	1500x800
2	Tablero de control	Acero	1000x800
1	Base de anclaje del grupo hidráulico	Hormigón armado	2000x1000
No	Descripción	Material	Dimensiones
Proyecto Hidroeléctrico Unupi		Fecha 9 de Abril del 2006	Firmas
		Diseñado por Omar Sánchez Luis Mancero	Material HORMIGON
Escala SCALE		Revisado por Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Calidad CICLOPIO
Hoja 1/1		Aprobado Ing José Guasumba Ing Francisco Terneus	Unidades MILIMETROS
Código BS50 CSMAQ01		PROYECTO DE GRADO	
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO			ANEXO No XVIII



ANEXO XIX. Ejemplo del programa de mantenimiento según su periodicidad

Id	ACTIVIDADES	SF	SI	D	S	1M	3M	6M	1A	2A	5A	8A
1	Ajuste prensa-estopa de válvula principal	■										
2	Cambio de empaquet. de prensa-estopa	■	▼									
3	Cambio de resistencia de carga secun.		■									
4	Sellado de fugas y reparación de canal		■									
5	Limpieza barraje colector de bocatoma		■	▼								
6	Limpieza rejilla en cámara de carga			■								
7	Verificar temperatura de roda. en tubería			■								
8	Verificación de vibraciones en la tubería			■								
9	Verifi. de ruidos anormales en tub. y gen.			■								
10	Verf.de fugas de agua en uniones de tub.			■	▼	▼						
11	Limpieza de polvo del REC				■	■						
12	Inspección de barraje de derivación					■						
13	Insp. de existen. piedras y lodo bocatoma					■						
14	Insp.de estado de compuerta de regulac.					■						
15	Insp.de estado de bocat.,canal y desaren					■						
16	Limpieza del tanque desarenador.					■						
17	Insp.de compuerta en la cámara de carga					■	■					
18	Limpieza del filtro de deflectores						■	▼				
19	Verificación de accionam. de deflector							■				
20	Insp. de conexiones eléctricas							■				
21	Limpieza del canal							■				
22	Engrase del cojinete principal de turbina							■				
23	Engrase de cojinete guía de turbina							■				
24	Verificación de tensión de faja de turbina							■	▼			
25	Limpie de tanque e insp. de resisten. secu								■			
26	Insp.de zonas susceptibles de derrumbes								■			
27	Insp. de filtraciones en tuberías forzadas								■			
28	Insp. de desgaste del rodete e inyectores								■			
29	Verificación de alineamiento del rodete								■			
30	Limpieza -bobinado interior de generador								■	■	▼	
31	Engrase de cojinetes del generador.								■	▲	■	
32	Insp.-conexión a tierra										■	
33	Medición del aislamiento del generador										■	▼
34	Cambio de cojinete principal de turbina											■
35	Cambio de cojinete inferior de turbina											
36	Cambio cojinete superior de generador											
37	Cambio de cojinete guía de turbina											

Nomenclatura

- SF Sin frecuencia
- SI Sin itinerario
- D Diario
- S Semanal
- M Mensual
- 3M Cada 3 meses
- 6M Cada 6 meses
- A Anual
- 2A Cada 2 años
- 5A Cada 5 años
- 8A Cada 8 años

ANEXO XX. Costos de adquisición del equipo electrohidráulico.

No. 1) 1 TURBINA HIDRAULICA OSSBERGER

Modelo de aspiración, turbina de 1 compartimiento
previsto para una caída neta de: 19,7 metros
y un caudal de: 363 lit./seg.

Potencia garantizada en Kw.:

100 %	90 %	60 %	50 %	40 % cargado
56,8	51,1	34,1	28,1	22,4 Kw. al árbol de turbina
363	327	218	182	145 lit./seg. consumo agua
81 %	81 %	81 %	80 %	80 % rendimiento

Velocidad de la turbina: 600 r.p.m.
Velocidad de embalamiento de la turbina
referente a la caída neta arriba mencionada: 1250 r.p.m.

Turbina, compuesta de:

- Rodete con 300 mm Ø, con eje y álabes demat. no. 1.0038 y 1.0038, rodamientos autocentrantes como cojinetes principales según la patente Ossberger
- Caja de turbina de acero, mat. no. 1.0038, eléctricamente soldada, elementos principales bridados
- Directrices de turbina fabricadas de acero, mat. no. 1.0038, cojinetes PERMAGLIDE® sin mantenimiento. con:

No. 2) 1 Régulador de carga LTR, 3 Ph, 400 V, 60 C, 60 kW, con guardamotor para generador, voltímetro, amperímetro para corriente de generador, amperímetro para la corriente excedente, frecuencímetro, con elemento calentador además:

No. 3) 1 Bastidor en dos piezas

No. 4) 1 Adaptador recto, con brida

No. 5) 1 Brida con extremo para soldar una tubería de presión de 500 mm ø int. (tubería de presión no incluida)

No. 6) 1 Tubo de aspiración 1600 mm

No. 7) 1 Acople elástico entre turbina y generador

No. 8) 1 Generador trifásico de tensión constante, sin escobillas, autoregulado y auto-excitado por rectificadores rotativos, con jaula de amortiguación para marcha en paralelo, con aislamiento tropical, equipado para la velocidad de embalamiento

Potencia:	62,5 kVA
Factor de potencia	0,8
Voltaje:	400 V
Velocidad:	600 r.p.m.
Velocidad de embalamiento:	1250 r.p.m.
Frecuencia:	60 C
Tipo de construcción:	B 3
Tipo de protección:	IP 23

con un juego de tacos de fundación

haciendo un total de no. 1 hasta 8 de:

EUR 49410,--Ossberger
USD 66705

Recargos(desaduanización ESPECIAL, Ejército):.

Recargos (USD americanos) :

25.75 ;	fuel surcharge
13.39 ;	security surchg
25 ;	terminal service
12 ;	sed prep or trasmision
31.48_	
15.45 ;	Certificación del valor de flete

SUBTOTAL : 123.07

6.15	Collecion fee
30:	Desconsolidación
8;	Visto bueno
3;	Ingreso inf. Electrónica
50	flete interno

TOTAL(Aduana): 220 ,22

Proforma ejemplo por SAMISA (anexos)

TOTAL DESADUANIZADO
(Guayaquil , Shell , Quito o Puyo)
USD

USD: 66925

ANEXO XXI. Proforma de instalación de la línea de transmisión

PROYECTO: TAISHA					
CIUDAD: MORONA SANTIAGO					
ite m	DESCRIPCIÓN	UNI D	CANT	\$/UNID	\$ TOTAL
1	Transformador de 62 KVA,440/220 V	u	1	1650	1650
2	Cartucho fusible tipo NH tamaño 1 de 500 V, 200 A	U	6	11	66
3	Vaso porta-fusible	U	6	16.5	99
4	Aislador tipo rollo 53-2	U	150	1.1	165
5	Conductor de cobre desnudo	M	50	1.56	78
6	Conductor de Al	M	10000	0.77	7700
7	Cinta eléctrica de baja tensión 19 mm	M	4	1.65	6.6
8	Conductor de Al para ataduras 4AWG	M	215	0.55	118.25
9	Retenedor terminal preformado	U	42	4.95	207.9
10	Cinta de armar de aleación	M	296	0.44	130.24
11	Conector de ranuras paralelas	U	36	4.18	150.48
12	Conector de Al Talón 4/0 AWG	U	4	6.6	26.4
13	Varilla cooperwel de 1,8 m 16mm de dia	U	10	11	110
14	Conector de bronce	U	10	1.65	16.5
15	Cable de acero de 9mm	M	90	0.55	49.5
16	Bastidor para secundario de 1 vía	U	148	2.2	325.6
17	Guardacabo para cable de de 9 mm dia	U	5	1.1	5.5
18	Abrazadera de platinas 38*5 mm	U	133	4.4	585.2
19	Caja metálica de hierro ,tol galv,insta monofásica	U	3	23.1	69.3
20	Horquillas de anclaje 16 mm	U	5	1.65	8.25
21	Varilla de anclaje	U	5	19.8	99
22	Mordaza para cable tensor 9mm	U	5	2.75	13.75
23	Bloque de hormigón 60*40*15 cm ,ancla	U	5	2.75	13.75
24	Varios.		1	57.2	57.2

TOTAL MATERIALES	11751.42
MANO DE OBRA SIN POSTES PARADOS	2937.86
DIRECCIÓN TÉCNICA Y TRANSPORTE	1468.93
SUBTOTAL	16158.21
IVA 12 %	1938.99
TOTAL	18097.20

Fuente: Ing. Rogelio Morocho (peso: 700 Kg)

Teléfonos: 2-921619/2610881

ANEXO XXII. Tabla de distribución de peso para el transporte al lugar

Costos de transporte del equipo electrohidráulico

Obra electromecánica				
Descripción	PESO kg	num viaj 3500 kg	Viajes	costo transporte
Grupo hidráulico	1430	1	1	306.83
Transformador	500	1	1	306.83
Cable de transmisión	3153	1	1	306.83
Materiales Varios	3500	1	1	306.83
Total				1227.33

Costos de transporte del material de construcción

TRANSPORTE DE LA OBRA CIVIL (SHELL-TAISHA)				
Material	PESO kg	Viajes (3500 kg)	Viajes	costo transporte
Cemento (sacos 50 kg)	21575.39	6.16	7	2147.84
Hierro (m ²)	24353.12	6.96	7	2147.84
Plastocrete DM (kg)	375.00	0.11	2	613.67
Bloques	705	0.20		
Hierro 14 varilla	504.35	0.14		
Hierro 8 varilla	235	0.07		
Resina gls	18.93	0.01		
Murosil	7.57	0.002		
Carbonato	100	0.03		
Pintura gls	11.36	0.003		
Total				

Total transporte helicóptero 6136.67
Transporte vía tierra hasta shell 2000

TOTAL 8136.67

ANEXO XXIII. Tabla de cálculo del kWh generado

Cálculo del costo del kWh						
Costos			Energía			Costo del kWh (USD)
Costo Total anual	Factor del valor actual	Valor actual costos	kWh vendidos	Factor del valor actual	Valor de la energía kWh	
101552,9	0,95	96718,98	0	0,95	0,00	
99240,53	0,91	90011,16	0	0,91	0,00	
1390	13,28	18465,73	350400	0,86	302710,56	
1390			350400	0,82	288274,08	
1390			350400	0,78	274538,40	
1390			350400	0,75	261422,93	
1390			350400	0,71	249074,83	
1390			350400	0,68	237150,72	
1390			350400	0,64	225867,84	
1390			350400	0,61	215110,56	
1390			350400	0,58	204878,88	
1390			350400	0,55	191633,76	
1390			350400	0,54	189321,12	
1390			350400	0,51	176987,04	
1390			350400	0,48	168542,40	
1390			350400	0,46	160518,24	
1390			350400	0,44	152879,52	
1390			350400	0,42	145591,20	
1390			350400	0,40	138653,28	
1390			350400	0,38	132065,76	
1390			350400	0,36	125793,60	
1390			350400	0,34	119766,72	
1390			350400	0,33	114090,24	
1390			350400	0,31	108659,04	
1390			350400	0,30	103473,12	
1390	350400	0,28	98532,48			
1390	350400	0,17	58797,12			
1390	350400	0,36	124427,04			
1390	350400	0,25	86198,40			
-64966,04	0,2284	-14838,24	350400	0,23	80031,36	
		190357,63			4734990,24	0,04