

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

PROYECTO HIDROELECTRICO

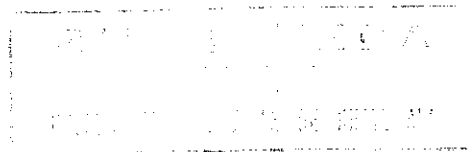
“SAN JOAQUIN”

ERWIN REINHARD HESSE DORFF

Trabajo de graduación presentado para optar

al grado académico de:

Licenciado en Ingeniería Civil



GUATEMALA

SEPTIEMBRE 1997

Vo. Bo.:



Ingeniero Francisco Ubieto
Asesor

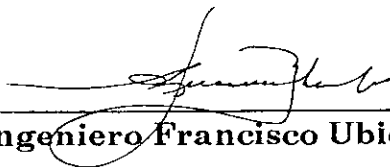
Tribunal:



Ingeniero Rafael Girón



Ingeniero Franklin Matzdorf



Ingeniero Francisco Ubieto

Fecha de aprobación: 8 de agosto de 1,997.

CONTENIDO:

I.	INTRODUCCION	1
A.	NECESIDAD DE ENERGÍA:	1
B.	HIDROPROYECTOS COMO FUENTE APROPIADA:	1
C.	HIDROPROYECTO SAN JOAQUÍN:	2
II.	ESTUDIOS PRELIMINARES DE FACTIBILIDAD	3
A.	AFORO DEL CAUDAL DEL RÍO:	3
B.	NIVELACIÓN PARA ESTABLECER LA CAÍDA:	3
C.	ESTUDIOS GENERALES:	3
D.	PROBLEMAS DE EROSIÓN:	4
E.	TIPO DE CANALES DEBIDO AL TIPO DE SUELO:	4
F.	TIPO DE CIMENTACIONES DEBIDO AL TIPO DE SUELO:	4
III.	ESTUDIO PRINCIPAL DE FACTIBILIDAD.....	6
A.	RECURSO AGUA:	6
1.	Origen del río:	6
2.	Mediciones existentes:	6
3.	Mediciones actuales:	6
4.	Fluctuaciones de caudal:	9
B.	TOPOGRAFIA:.....	10
1.	Nivelación línea central para tubería de presión:	10
2.	Nivelación del embalse:.....	10
3.	Localización de tubería de presión y canales:.....	10
4.	Nivelación de casa de máquinas:	11
C.	GEOLOGÍA:	11
1.	Área del embalse:	12
2.	Tubería de presión:	12
3.	Área de casa de máquinas:.....	12
4.	Observaciones adicionales:	13
D.	DISEÑO DE BOCATOMA Y OBRAS CONEXAS:	13
1.	Bocatoma:	13
2.	Compuertas:	15
3.	Sedimentadores:.....	16
4.	Embalse:.....	17
5.	Canales:	17
E.	DISEÑO TUBERÍA DE PRESIÓN	19
1.	Tuberías y sus diámetros:	19
2.	Pérdidas de carga:.....	20
3.	Espesores de la tubería:	22
4.	Selección del diámetro óptimo:	24
5.	Cargas dinámicas:.....	26

6.	Curvas verticales y horizontales:.....	29
7.	Cimentaciones de soportes y anclajes:.....	30
F.	DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS.....	33
1.	Turbina y Pitones:.....	33
2.	Válvulas de seguridad:.....	36
3.	Cimentaciones:.....	37
G.	SELECCIÓN DEL GENERADOR.....	37
1.	Generador.....	38
2.	Transferencia de energía.....	38
3.	Pararrayos y protección de sobrecargas.....	38
H.	TRANSFORMACIÓN Y PROTECCIONES.....	39
1.	Transformadores y sistema eléctrico.....	39
IV.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	40
A.	COSTOS ESTIMADOS.....	40
1.	Obras civiles.....	40
2.	Tuberías.....	40
3.	Turbina y Generador.....	41
4.	Accesorios.....	41
5.	Línea de Transmisión.....	42
6.	Gastos de Mantenimiento.....	42
7.	Gastos Legales.....	42
8.	Mano de obra Extranjera.....	43
9.	Costo de inversión total:.....	43
B.	INGRESOS ESTIMADOS.....	40
C.	RENTABILIDAD.....	44
V.	BIBLIOGRAFÍA.....	46
	APENDICE A.....	47
1.	MAPAS.....	48
2.	COTIZACIONES DE TURBINA Y GENERADOR.....	52
3.	TABLAS DE COEFICIENTES HIDRAULICOS.....	59

I. INTRODUCCIÓN

A. Necesidad de energía:

Este proyecto de trabajo de graduación surgió de la existencia de un recurso natural renovable en la finca San Joaquín, Alta Verapaz. Dado que la energía eléctrica es de vital importancia en el desarrollo de un país del tercer mundo, su producción debiera tener una mayor prioridad a nivel nacional.

La situación de subdesarrollo puede ser mejorada si se tiene acceso a un adecuado y confiable servicio energético, el cual puede generar fuentes de trabajo y oportunidades para superar al individuo y así al país. Adicionalmente a la generación eléctrica, los proyectos hidroeléctricos permiten generar energía mecánica, la cual puede ser empleada para maquinaria agro-industrial.

B. Hidroproyectos como fuente apropiada:

- Los proyectos hidroeléctricos de pequeña o mediana escala tienen la ventaja de ser renovables y no contaminantes, que pueden desplazar generación basada en petróleo importados, los cuales tienen generalmente un costo mayor.
- Puede ser integrado a un esquema de proyecto de irrigación e introducción de agua potable para maximizar los beneficios y distribuir los costos a varios sectores.
- Es una tecnología comprobada que ha sido utilizada por años en muchos países del mundo europeo, asiático, africano y americano.

Basándose en lo disperso de los poblados rurales, este tipo de proyectos pueden representar un ahorro de líneas de transmisión, las cuales tienen pérdidas de carga y sus costos pueden ser mayores.

C. Hidroproyecto San Joaquín:

Este proyecto se encuentra en la finca San Joaquín, municipio de San Cristóbal, departamento de Alta Verapaz. El proyecto se basa en un caudal de aproximadamente 250 lts/s, el cual tiene una caída de 255 mts. La generación estimada para este proyecto con caudal mínimo anual es de aproximadamente 500KW, con generación continua, o la alternativa de 1000 KW con un período de 12 horas de uso diario.

Este sistema hidroeléctrico se encuentra en catarata con una hidroeléctrica existente, la cual utiliza el caudal de los riachuelos San Joaquín y San José para lograr una caída de 90 mts y generar 225 KW.

El agua proviene de un nacimiento en piedra caliza, como se halla en las Verapaces, el cual descarga en el río Negro o Chixoy con aproximadamente 400 mts de desnivel. Este proyecto no se encuentra dentro de la cuenca que abastece a la Hidroeléctrica Chixoy, cuya presa se encuentra 2 Km. río arriba.

La calidad química del agua contiene muchos minerales en solución, entre ellos el carbonato de calcio, que se deposita a lo largo del cauce existente. El agua fue captada originalmente en el año de 1820 para propulsar una rueda de agua en el casco de la finca San Joaquín, donde se trabajaba caña de azúcar.

II. ESTUDIOS PRELIMINARES DE FACTIBILIDAD

A. *Aforo del caudal del río:*

Mediante un vertedero temporal se ha podido determinar que el caudal existente en la finca San Joaquín es de aproximadamente 250 l/s. Esta medición se mejoró con datos esparcidos durante un mayor período. (Véase 3.1.3 mediciones actuales)

B. *Nivelación para establecer la caída:*

La caída existente se ha podido estimar al utilizar un barómetro y es de aproximadamente 250 mts. que descarga en una micro hidroeléctrica existente de 225 KW.

C. *Estudios generales:*

- Calidad del agua: Este examen de laboratorio lo efectuó la Dra. Química Bióloga Alba T. de Abreu el 18 de Septiembre de 1996. En esta prueba se analizó dureza de calcio y dureza de magnesio. Los resultados de estas pruebas fueron:

	Dureza de Calcio mg/L	Dureza de Magnesio mg/L	Dureza total mg/L
1) Nacimiento San Joaquín	609.22	182.78	= 792.00
2) Punto descarga San Joaquín	503.00	177.00	= 680.00
3) Afluente San José	86.18	163.82	= 250.00

- Observaciones: El agua del nacimiento San Joaquín y el del punto de descarga San Joaquín es MUY DURA; la del afluente San José es DURA.

Esto muestra que el agua que se utilizará para la turbina pierde en su curso actual 106.00 mgCa/L y 5.78 mgMg/L. Esta pérdida de calcio significa que las paredes de la tubería de presión serán cubiertas de una capa de sarro, la cual disminuirá el diámetro y aumentará el coeficiente de fricción por metro lineal. En la turbina se tendrá el mismo problema, que causará un mantenimiento más frecuente.

D. Problemas de erosión:

Se caminó a lo largo del río para determinar la erosión causada por la corriente. En el cauce actual no se encontraron grandes cortes por el desplazamiento del agua. Se determinó que es necesario colocar la tubería de presión en alto para evitar posteriores complicaciones.

E. Tipo de canales debido al tipo de suelo:

En el sistema de canales utilizado actualmente para la rueda de agua, se puede observar que el agua deposita Ca y Mg a lo largo de las paredes causando una reducción de sección transversal en el canal. Adicionalmente se observó que repetidamente se encuentran piedras en el piso del canal las cuales causan un flujo poco tranquilo.

F. Tipo de cimentaciones debido al tipo de suelo:

En las perforaciones verticales se pudo observar que existen varios mantos o estratos de terreno de derrumbes más o menos meteorizado. Las condiciones encontradas requieren parámetros de diseño muy conservadores.

III. ESTUDIO PRINCIPAL DE FACTIBILIDAD

A. *Recurso agua:*

1. Origen del río:

El río nace de una formación kárstica y se encuentra al sur de San Cristóbal, por lo que puede tratarse de filtraciones de la laguna de Chichoj, lo que explicaría que el flujo es estable durante todo el año; además los altos porcentajes de Ca y Mg son normales en esa región. (Apéndice A.1 Mapa 1)

2. Mediciones existentes:

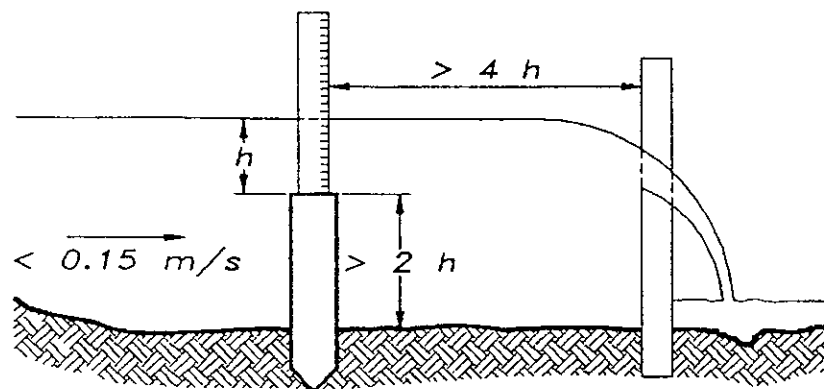
Las mediciones existentes datan de abril de 1993 cuando se determinó un caudal de 200 l/s. Estas mediciones fueron efectuadas mediante un vertedero rectangular de paredes gruesas y sin impermeabilización adecuada.

3. Mediciones actuales:

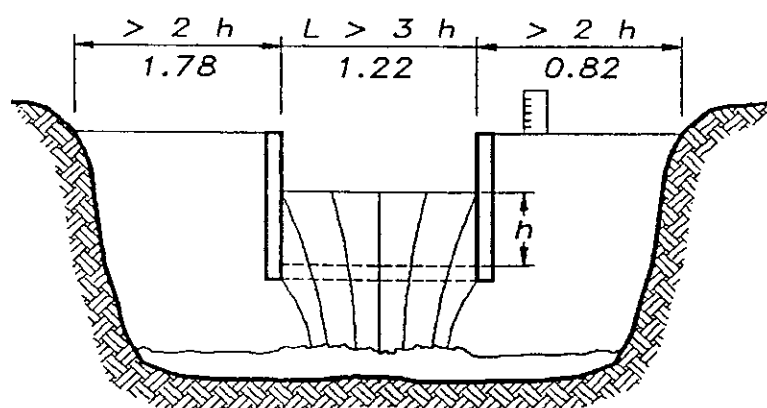
Para las mediciones actuales se construyó un embalse con un vertedero rectangular con cresta afilada, debidamente impermeabilizado. La fórmula a utilizar:

$$Q = 1.8 \times (L - 0.2 \times h) \times h^{2/3}$$

Las condiciones siguientes fueron tomadas en cuenta:



$h =$ CARGA (mts)
 $L =$ Ancho Vertedero (mts)
 $Q =$ CAUDAL (m^3/s)



VERTEDERO RECTANGULAR UTILIZADO

- * profundidad del embalse $> 2h$
- * distancia a la orilla $> 2h$
- * ancho del vertedero $L > 3h$
- * distancia de la cresta a la escala de medición $> 4h$
- * velocidad del agua $< 0.15 m/s$

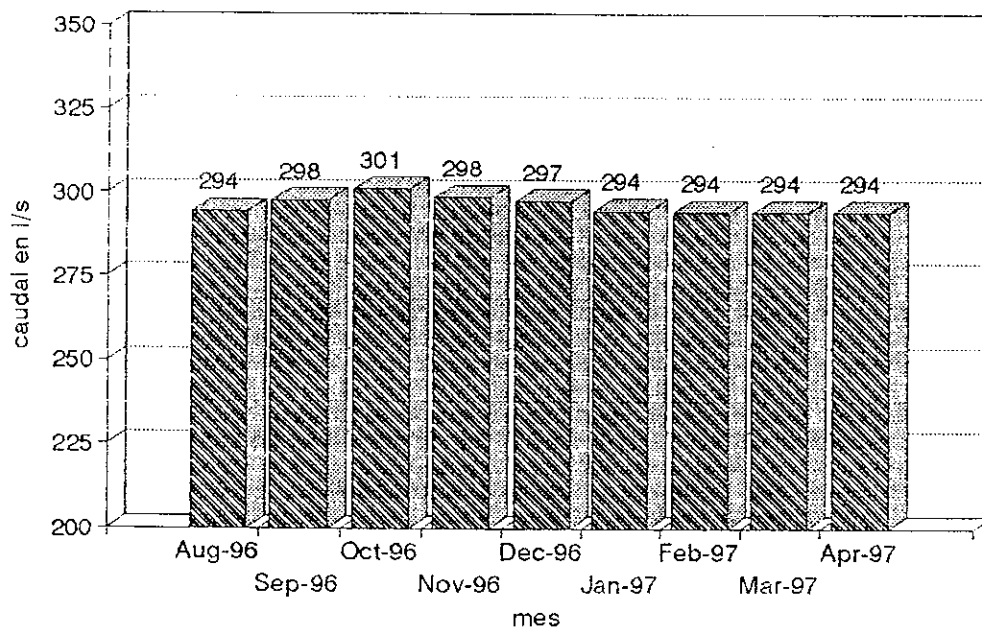
(Todos estos criterios fueron tomados de Micro-Hydropower Sourcebook de Allen R. Inversin. 1990)

Un caudal de 20 l/s no tomado en cuenta en el vertedero pasa por

la rueda de agua y ha sido medido en el canal de descarga mediante el método de velocidad - área.

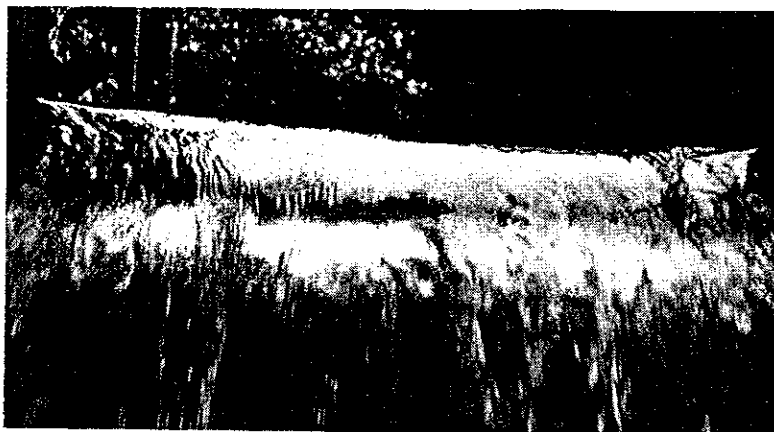
Las lecturas del vertedero más las del canal han sido tomadas desde inicio de Septiembre de 1996 y proporcionan información suficiente para establecer un flujo estable:

Caudal promedio Mensual Finca San Joaquín



El río tiene un caudal mensual bastante estable por tratarse de una fuente surgente de origen subterráneo. La cantidad de agua de escorrentía no ha sido tomada en cuenta por tratarse de una cuenca relativamente pequeña de 924,177 mts², que actualmente está sembrada con bosque artificial y café. (Apéndice A.1 mapa 1).

Para este proyecto se utilizará un flujo base de 260 l/s dejando un rebalse en el cauce actual de 25 l/s a 40 l/s.



Vertedero de cresta afilada utilizado

4. Fluctuaciones de caudal:

Las fluctuaciones detectadas en el caudal han sido de ± 25 l/s debido a precipitaciones intensas en la cuenca. Hay que hacer mención de una creciente extraordinaria del año de 1943, la cual depositó aproximadamente 1 metro de altura de lodo en el plan del casco de la finca. Este factor debe ser tomado en cuenta para el diseño de la bocatoma.

B. Topografía:

1. Nivelación línea central para tubería de presión:

Esta se efectuó en Septiembre de 1996 y se logró establecer una diferencia de nivel de 241.50 mts y se puede observar en el plano de trazo de tubería de presión en planta (Apéndice A.1, Mapa 2). Este plano indica tres inflexiones en planta de la tubería de presión.

El plano de perfiles muestra una distancia acumulada de superficie de 724 mts. con dos pasos bajo la carretera del INDE. (Apéndice A.1, Mapa 3)

2. Nivelación del embalse:

El lugar para un posible embalse se ha ubicado sobre la pequeña planicie del casco con dimensiones 130x30x3 mts, por lo que se busca quedar lo más despegado del cambio de pendiente y superior a la cota 1060 m.s.n.m.

3. Localización de tubería de presión y canales:

La tubería de presión quedará en alto para evitar corrosiones, por contacto con el suelo, así como daños por derrumbes, inundaciones o fugas de agua de la misma.

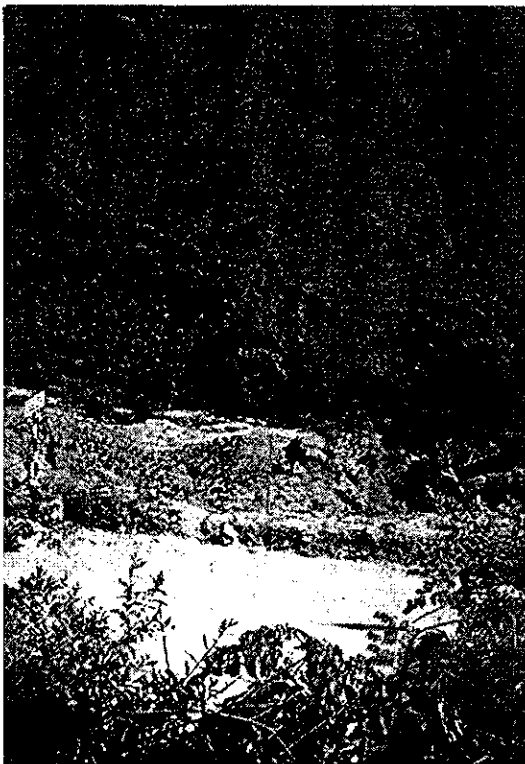
Los canales a utilizar deben transportar el agua de la bocatoma al probable embalse y mantener una pendiente inicial baja para no arrastrar sólidos al embalse. Adicionalmente se utilizará un canal para transportar el agua del desfogue de la turbina hacia la tubería de presión de la microcentral existente.

4. Nivelación de casa de máquinas:

- El lugar para la casa de máquinas ha sido nivelado junto con la línea central. Tiene un tamaño de 8x15 mts perpendicular a la tubería de presión.



Ubicación propuesta para
Casa de Máquinas



Vista del terreno
hacia el río Chixoy

C. GEOLOGÍA:

Con asesoría del distinguido Ingeniero Geólogo Otto H. Bonenberger, se ha realizado un reconocimiento geológico del futuro proyecto hidroeléctrico San Joaquín.

1. Área del embalse:

El tanque de almacenamiento estaría ubicado a unos 140 mts de la orilla de la pequeña planicie y tendría como dimensiones 130x30x3 mts. con una capacidad de unos 11700 m³. El terreno está formado por depósitos coluviales y probablemente lutitas y calizas Tactic. Se recomendó hacer pozos manuales para determinar posibles infiltraciones o aumentos de presión de poro indeseadas.

2. Tubería de presión:

Esta constará de 724 mts lineales que atraviesan en dos puntos las carreteras del INDE. En la ladera donde desciende la tubería hay roca extremadamente fracturada, triturada y debilitada. No se observaron afloramientos de roca, sino solamente depósitos de derrubios.

Se reconoce que a media ladera la tubería de presión se encuentra sobre la falla Cuilco - Chixoy - Polochic (C.C.P.) o uno de sus planos paralelos, lo cual requiere consideración para el diseño de la tubería de presión.

3. Área de casa de máquinas:

Este sitio se distribuye de tal modo que permite descargar el agua turbinada hacia la toma actual de la planta San Joaquín. Se han podido registrar deslizamientos anteriores en cortes del talud que dan acceso a la actual plataforma de la casa de máquinas. Se tendrán que hacer

excavaciones en el paredón para obtener una plataforma adecuada. Los anclajes de la casa de máquinas requieren de subsuelo firme y para ello se investigará el subsuelo.

4. Observaciones adicionales:

Se concluyó que el proyecto se encuentra en una región de alto riesgo sísmico y dentro de la franja de la falla C.C.P. La ladera norte del valle del río Chixoy muestra condiciones geotécnicas desfavorables, con presencia de rocas dislocadas y debilitadas. Se aconsejan parámetros de diseño muy conservadores por tener condiciones de alto riesgo.

D. DISEÑO DE BOCATOMA Y OBRAS CONEXAS:

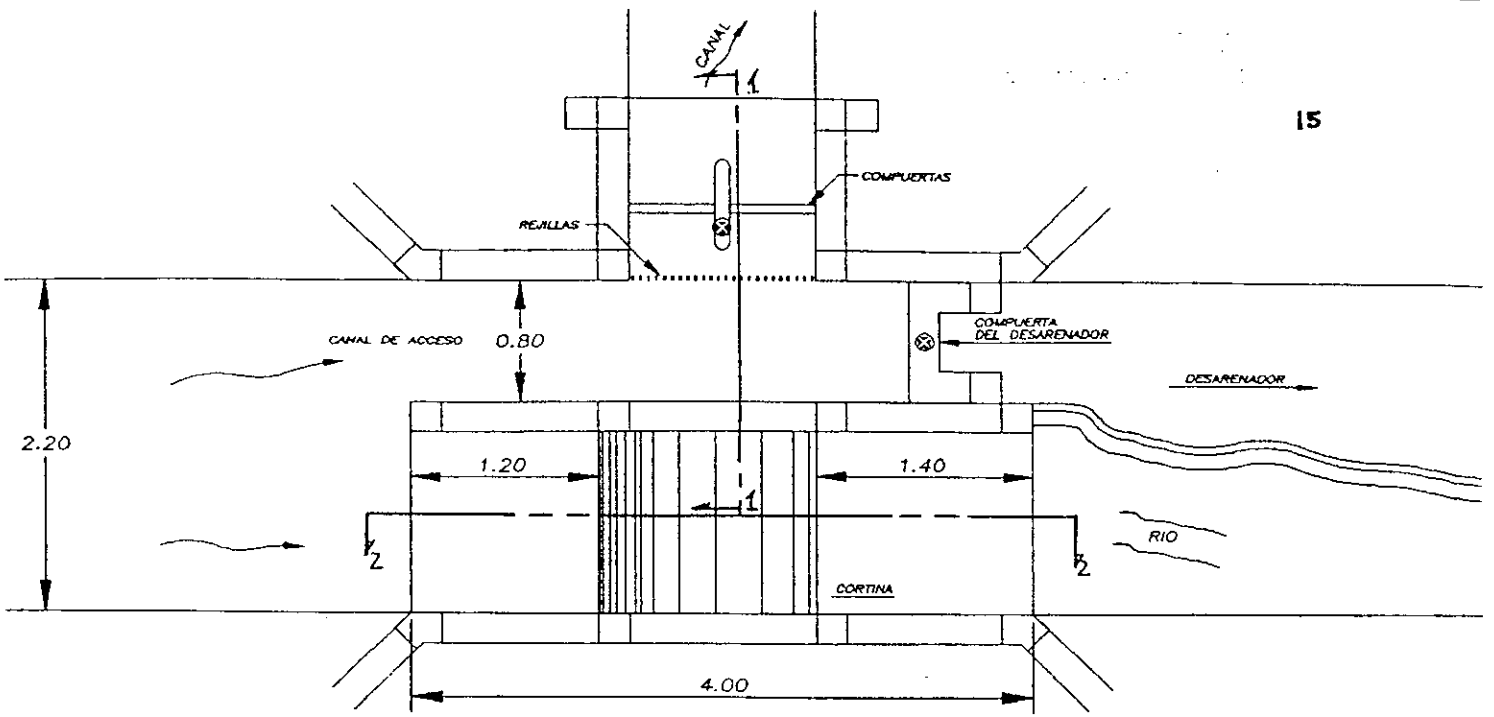
1. Bocatoma:

La función primordial de esta presa desviadora es captar el agua que actualmente corre en el lecho de río y desviarla hacia la pila de entrada a la tubería forzada. Se busca hacer la extracción de agua y que cause un mínimo disturbio en el flujo. Esta obra debe suministrar velocidades adecuadas para atravesar rejillas, sedimentadores y compuertas.

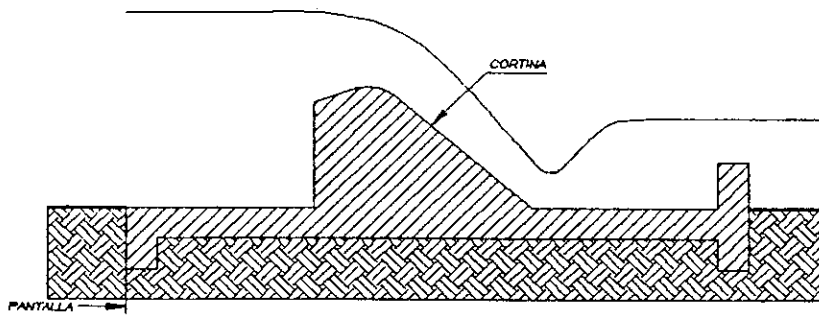
La presa desviadora se basa en una cortina de concreto perpendicular al cauce, la cual eleva el nivel del agua río arriba. Se puede observar en el croquis que el agua es guiada hacia un canal de acceso de donde es desviada hacia el canal de conducción. Este a su vez tiene una rejilla al inicio para evitar partículas mayores y objetos flotantes y es regulada por una compuerta vertical. En la parte final del canal de acceso se encuentra la compuerta del desarenador inicial al cual permite remover el material arrastrado por el río que por sedimentación se acumule allí con

el tiempo. El nivel del agua que busca entrar al canal es regulado por la compuerta vertical. Cualquier exceso de agua que se encontrara en el cauce del río pasará por encima de la cortina de concreto y seguiría en su cauce actual.

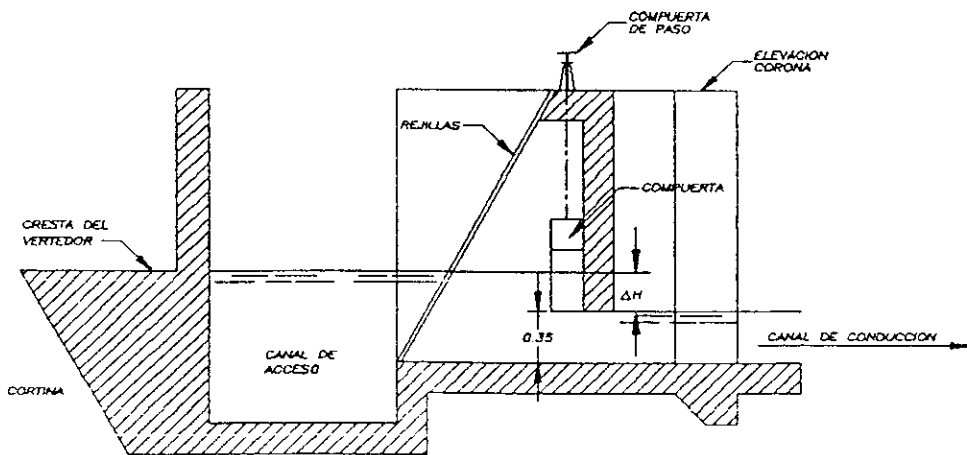
Al llegar el agua a la pila de entrada de la tubería de presión de 3 x 4 x 2 metros, el agua que exceda el caudal de 260 litros por segundo será desviada al cauce original.



PLANTA



CORTE 2-2



CORTE 1-1

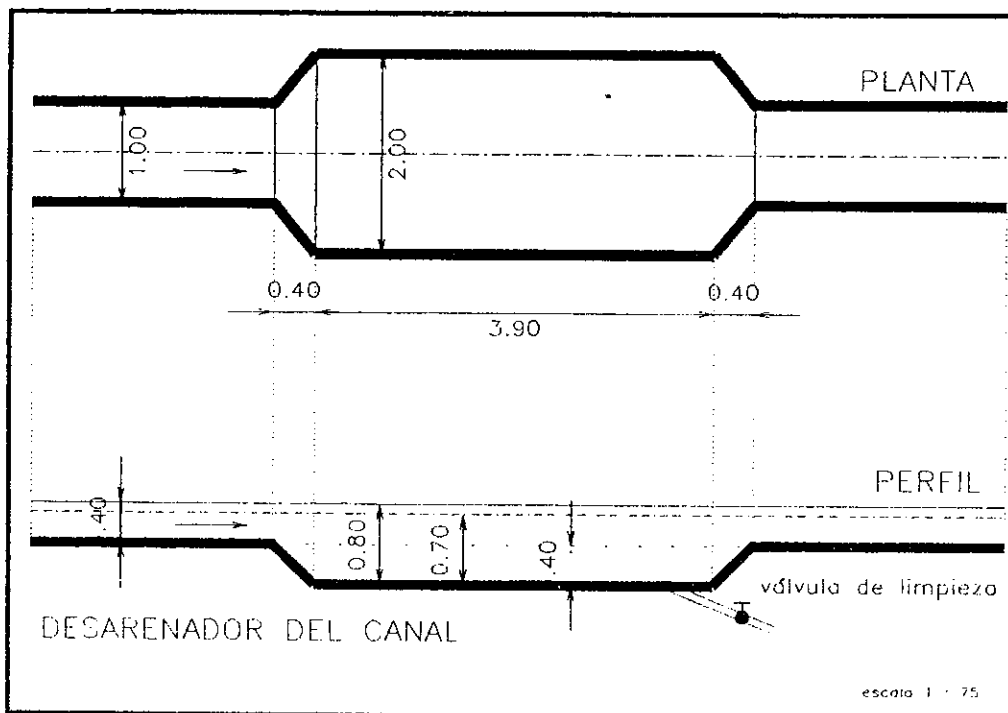
DISEÑO DE BOCATOMA

2. Compuertas:

Para este proyecto se utilizarán compuertas en los canales y en la tubería de presión. Las compuertas en los canales constan de una placa de metal colocada perpendicularmente a la dirección del canal. Son reguladas verticalmente mediante un mecanismo elevador.

3. Sedimentadores:

Se busca sedimentar arena y, eventualmente, material transportado por el fondo. Para ello se reducirá la velocidad del agua en el canal de acceso. Por consiguiente, este canal tiene un tramo de 4.70 metros, el cual tiene una profundidad mayor a la del canal (.40 metros), en cuyo tramo se retendrá arena y rocas que puedan ser transportadas.



El Ca y Mg en solución no se sedimentan. Durante la etapa de operación, se estudiará si se requieren mecanismos de precipitación mediante campos magnéticos.

4. Embalse:

En un principio se contempló la construcción del embalse de regulación, que lo formaría una pila de tres metros de profundidad, 30mts de ancho y 130mts de largo con una capacidad estimada de 11700 mts³. Este embalse ha sido evaluado y rechazado por reconocer que generaría una carga adicional sobre el talud y un potencial problema de derrumbes en el futuro.

5. Canales:

El diseño de los canales se basa en el caudal que deben trasladar. Para su cálculo se utilizará la fórmula de Manning para canales rectangulares:

$$\frac{n \times Q}{\sqrt{s}} = A \times R h^{2/3}$$

y

$$v = \frac{1}{n} R h^{2/3} \sqrt{s}$$

Rh - Radio hidráulico

A - Área transversal

Q - Caudal

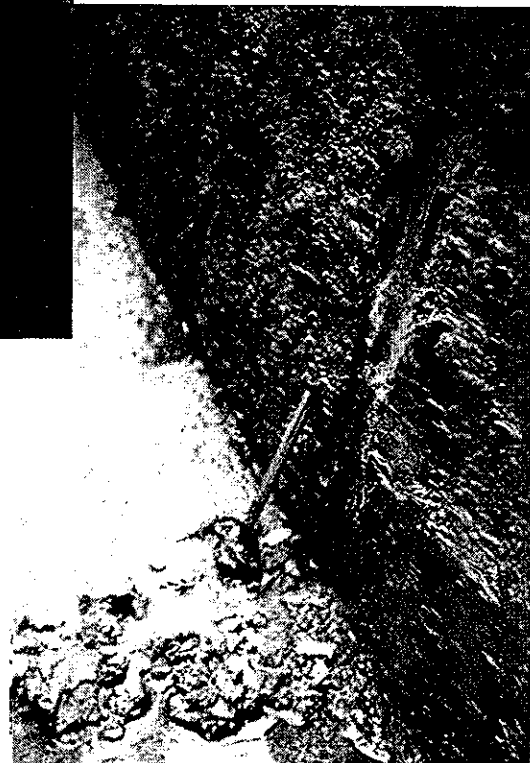
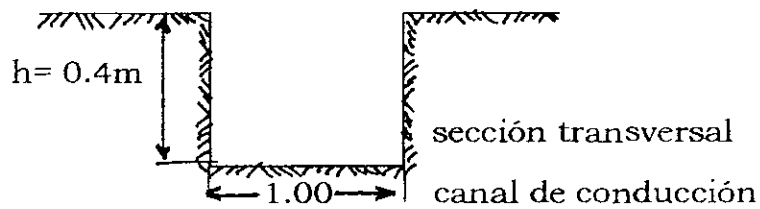
n - coeficiente. Manning
canales = 0.012

s - pendiente a usar

v - velocidad

El canal típico a utilizar tiene una pendiente de $s=0.001$ y una sección transversal de 1.00m de base y 0.40m de altura. Este canal puede soportar un caudal máximo de 386 l/s y trabajará a un caudal medio de 260 l/s y una velocidad de 0.86 metros por segundo.

Canal en sección transversal:



Canales utilizados actualmente

E. DISEÑO TUBERÍA DE PRESIÓN

1. Tuberías y sus diámetros:

La tubería a utilizar ha sido calculada con base en su diámetro, pérdida de carga y costo. La carga de diseño que se utilizará para este proyecto será igual a la presión estática, más la sobrepresión que provoque la válvula de aguja de la turbina (15% H_{max}). La combinación adecuada de estas dos variables permite determinar el diámetro óptimo para el cual se tendrá el menor costo, integrado por el costo de la tubería y la pérdida de energía por fricción dentro del tubo. Para el cálculo del diámetro óptimo se graficó costo de energía por pérdidas de carga contra costo de inversión de tubería de presión, válvulas, cimientos y mano de obra de instalación. Cabe notar que el diámetro definitivo se debe obtener tomando en consideración aspectos económicos y de ingeniería (ver hoja diámetro óptimo).

Para el diseño inicial se tiene el levantamiento topográfico de la línea central sobre cuyo perfil se hace el trazo preliminar de la tubería de presión. Este trazo se mejora al determinar los ángulos de deflexión de cada tramo y sus puntos obligados, como son los pasos de calles y puntos de inflexión horizontales. Con el diseño de línea central establecido se determinan cotas de cimentaciones para el diámetro específico a utilizar. De los datos de diseño se obtienen longitudes y los ángulos respecto del horizonte de cada tramo de tubo y entre tubo y tubo. Para poder ser trazadas las cotas en campo se calcula la distancia, desde la estación 00+00.00 y se fijan los cimientos con su respectiva cota entre dos consecutivos. Teniendo calculado los tramos y sus distancias se determinan las longitudes de tuberías de presión necesarias para el

proyecto. Con los datos de longitudes y ángulos se calculan pérdidas de cargas para distintos diámetros.

Para este proyecto se le asignó a cada anclaje una letra específica y se formaron los tramos con longitudes, ángulos, presiones estáticas, cargas dinámicas y espesores variables.

2. Pérdidas de carga:

Para éstas se debe considerar:

- Pérdidas por entrada.
- Pérdidas por fricción.
- Pérdidas por codos.
- Pérdidas en válvulas y accesorios.

Las pérdidas en rejillas y de entrada son despreciables para este proyecto, por tratarse de cargas de gran altura.

Las pérdidas significativas son las de fricción en las paredes de la tubería y las pérdidas en accesorios como codos, válvulas, pitones y llaves. Fórmulas utilizadas para estos cálculos son:

$$H_{ftot} = H_f + H_t$$

de donde:

H_{ftot} - pérdida total

H_f - pérdida fricción

H_t - pérdida accesorios

Se utilizó para pérdidas de fricción:

$$H_f = \frac{10 \times n^2 \times Q^2}{D^{5.3}} \times L$$

de donde:

n - coeficiente rugosidad

L - longitud tubería

Q - caudal

D - diámetro interior

Se utilizó para pérdidas en accesorios:

$$H_t = \frac{K \times v^2}{2 \times g}$$

de donde:

K - coeficiente. accesorio

v - velocidad

g = 9.81 m/s²

Las pérdidas por codos varían según la forma del codo, el diámetro de la tubería y las condiciones superficiales del interior del tubo. Cuando el agua fluye por un codo se provocan turbulencias y vórtices secundarios. Los valores de cálculo, específicos por cada tramo, se pueden ver en la hoja de cálculo. En el cálculo final de Ht del pitón se requiere el coeficiente proporcionado por el fabricante de la turbina.

PERDIDA DE CARGA CON DOS TUBERIAS DE 14"								
Y UN COEFICIENTE DE $n=0.013$								
CIM- IENTO	P.O.	Long.REAL DE P.I.	ANG. HORIZONTAL			PERDIDA Hf TUBO	PERDIDA Hf CODC	PERDIDA Ht FINAL
			GRD	MIN	SEG			
A	B	37.20	11	41	35	0.254		0.254
B	C	110.30	4	11	35	0.753	0.009	0.762
C	D	32.76	11	41	35	0.222	0.009	0.230
D	E	56.25	19	47	37	0.383	0.009	0.392
E	F	33.97	14	47	37	0.229	0.009	0.238
F	G	77.16	29	47	37	0.523	0.009	0.531
G	H	9.67	47	17	37	0.055	0.009	0.063
H	I	24.99	2	17	37	0.162	0.013	0.175
I	J	91.28	7	46	28	0.617	0.013	0.630
J	K	29.62	47	17	37	0.187	0.013	0.200
K	L	23.16	2	17	37	0.144	0.013	0.157
L	M	50.28	37	17	37	0.336	0.012	0.348
M	N	30.00	27	17	37	0.203	0.009	0.212
N	O	30.01	29	47	37	0.205	0.009	0.214
O	P	101.11	30	17	37	0.687	0.009	0.696
P	Q	5.00	0	17	37	0.034	0.01	0.045
	total:	742.75				PITON	0.044	0.044
					totales:	4.992	0.197	5.189

Al calcular las pérdidas de carga para una variedad de diámetros entre 10" y 22" se obtienen las diferentes pérdidas de carga con las cuales se puede generar el cálculo pérdida anual por pérdida de carga.

3. Espesores de la tubería:

Los espesores de la tubería de presión que se han utilizado han sido calculados al considerar una sobrepresión de 15%. Para su cálculo se utilizó la formula:

$$t = 500 \times \frac{p \times d}{s}$$

donde:

t= espesor de acero(mm)

D= diámetro interno (m)

p= presión (m de agua)

s= esfuerzo de diseño del acero
(kg/cm²) [3500 kg/cm²]

HIDROELECTRICA SAN JOAQUIN GUATEMALA 23/03/97 arch: sj_tub							
Espesores de pared de tubería de presión para distintos diámetros							
tramo	10 "	11 "	12 "	13 "	14 "	15 "	16 "
	espesores	espesore	espesore	espesores	espesores	espesore	espesores
	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"
A-B	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
B-C	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
C-D	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
D-E	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
E-F	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
F-G	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
G-H	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	5 /16	5 /16
H-I	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	5 /16	5 /16	5 /16
I-J	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	5 /16	5 /16	5 /16
J-K	4 /16	4 /16	4 /16	5 /16	5 /16	5 /16	6 /16
K-L	4 /16	4 /16	5 /16	5 /16	6 /16	6 /16	6 /16
L-M	4 /16	5 /16	5 /16	5 /16	6 /16	6 /16	6 /16
M-N	5 /16	5 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16	7 /16
N-O	5 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16	7 /16	8 /16
O-P	5 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16	8 /16	8 /16
P-Q	7 /16	7 /16	8 /16	8 /16	9 /16	10 /16	10 /16

Como se puede reconocer en la variedad de espesores, las tuberías fueron subdivididas en tramos de igual presión al tomar como crítica la de mayor presión (Apéndice A.1, Mapa 3).

HIDROELECTRICA SAN JOAQUIN GUATEMALA 23/03/97 arch: sj_tub						
Espesores de pared de tubería de presión para distintos diámetros						
tramo	17 "	18 "	19 "	20 "	21 "	22 "
	espesores	espesore	espesore	espesore	espesores	espesores
	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"	tubo = t"
A-B	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
B-C	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
C-D	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
D-E	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
E-F	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16
F-G	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	4 /16	5 /16
G-H	5 /16	5 /16	6 /16	6 /16	6 /16	6 /16
H-I	5 /16	6 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16
I-J	5 /16	6 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16
J-K	6 /16	6 /16	6 /16	7 /16	7 /16	7 /16
K-L	7 /16	7 /16	7 /16	8 /16	8 /16	8 /16
L-M	7 /16	7 /16	7 /16	8 /16	8 /16	9 /16
M-N	8 /16	8 /16	9 /16	9 /16	10 /16	10 /16
N-O	8 /16	9 /16	9 /16	10 /16	10 /16	11 /16
O-P	9 /16	9 /16	10 /16	10 /16	11 /16	11 /16
P-Q	11 /16	12 /16	12 /16	13 /16	13 /16	14 /16

4. Selección del diámetro óptimo:

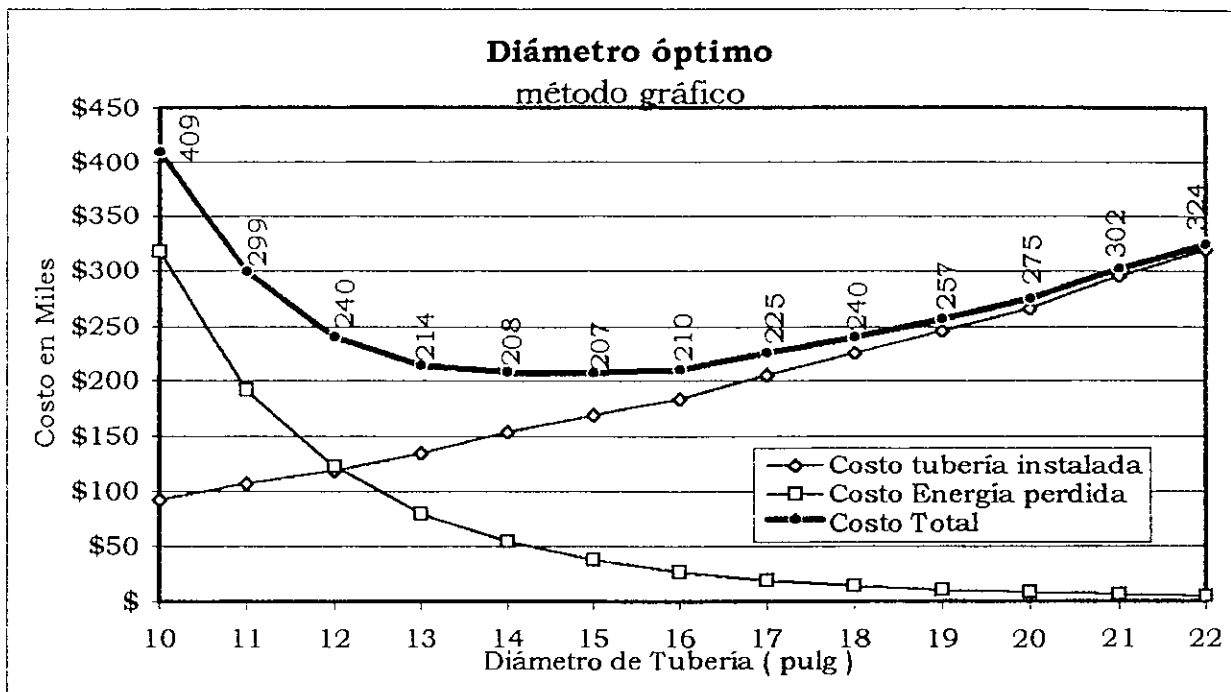
Para determinar cuál es el diámetro óptimo de la tubería, se ha optado por una solución gráfica. De acuerdo a datos proporcionados por fabricantes de turbinas, se supondrá una eficiencia cercana a 85% para la turbina, la cual será abastecida por dos tuberías forzadas (Apéndice 6.2, gráfica de eficiencia). En el cálculo de pérdidas de carga se determinan los factores para los distintos diámetros de tuberías posibles.

En la selección de la tubería adecuada se requiere una comparación económica, para la cual se ha establecido el costo de cada tubería en función del peso a un valor de 1420 \$/Ton (columna 3). La pérdida de carga (columna 2) es transformada a energía pérdida anualmente según el diámetro (columna 4). Con un valor de 0.04\$/Kwh, se transforma la pérdida de energía anual (columna 5). Este valor anual es transformado a Valor Presente (VP), con una tasa de interés $i=6\%$ (moneda dura, US\$) y un período de vida aprovechable de $n=30$ años. Finalmente se calcula la suma de energía pérdida y costo de tubería obteniendo así el costo total (columna 6).

				vida util n=	30		
EFICIENCIA DE LA TURBINA 85%				Tasa i=	6%		
DIAMETRO <--> TUBERIA OPTIMA				0.04	\$/KWh		
1	2	3	4	5	6	7	
diam.	2 tubos	Costo \$	energia	Perdida \$	Perdida VP \$	Col.3 +	
en Pulg.	Hf (mts)	tuberia	perd. KW/a	por año	(P/a[6%,30a])	Col.6 =	
10	30.46	\$91850	575818.3	\$23033.00	\$317045	\$408895	
11	18.44	\$106800	348591.2	\$13944.00	\$191937	\$298737	
12	11.67	\$118350	220610.6	\$8824.00	\$121461	\$239811	
13	7.66	\$134300	144805.3	\$5792.00	\$79726	\$214026	
14	5.19	\$153700	98112.2	\$3924.00	\$54013	\$207713	
15	3.61	\$169650	68300.44	\$2732.00	\$37606	\$207256	
16	2.58	\$183600	48696.91	\$1948.00	\$26814	\$210414	
17	1.88	\$205500	35445.15	\$1418.00	\$19519	\$225019	
18	1.39	\$225400	26276.67	\$1051.00	\$14467	\$239867	
19	1.05	\$245650	19811.48	\$792.00	\$10902	\$256552	
20	0.80	\$266550	15123.26	\$605.00	\$8328	\$274878	
21	0.62	\$295100	11720.53	\$469.00	\$6456	\$301556	
22	0.49	\$319400	9206.287	\$368.00	\$5065	\$324465	

La solución gráfica se basa en la interpretación de la función resultante de la suma del costo de la energía pérdida y el costo de tubería de presión instalada.

Esta función resultante muestra el costo resultante de dos tuberías en paralelo, en cuyo punto bajo se puede determinar el diámetro óptimo con el menor costo. El diámetro seleccionado para este proyecto es de D=14" con un costo de \$207,713. Esta tubería es de índole comercial y será subdividida en cinco tramos de distintos espesores desde 4/16" hasta 9/16".



5. Cargas dinámicas:

Los cálculos de cargas dinámicas que se ejercen sobre soportes y anclajes a lo largo de la tubería se basan en las siguientes fórmulas:

Origen de la carga	Magnitud (kgf)
1. Componente de peso de tubo y agua perpendicular al mismo.	$F_1 = (W_p + W_w) \times L' \cos \alpha$
2. Fricción del tubo sobre los soportes	$F_2 = f \times (W_p + W_w) \times L'' \cos \alpha$
3. Presión hidrostática en cambios de pendiente	$F_3 = 1.6 \times 10^3 p \frac{D^2 \sin(\beta - \alpha)}{2}$
4. Componente de peso paralela a la tubería	$F_4 = W_p \times L \times \sin \alpha$
5. Esfuerzos inducidos por expansión térmica (sin juntas)	$F_5 = 31 \times D \times t \times E \times a \times \Delta t$
6. Fricción dentro de la junta de dilatación	$F_6 = 3.1 \times D \times C$
7. Presión hidrostática en punta del tubo expuesta de la junta de dilatación	$F_7 = 3.1 \times p \times D \times t$
8. Presión dinámica en inflexiones	$F_8 = 250 \times (Q/D)^2 \sin(\beta - \alpha) / 2$

donde:

a = coeficiente de expansión lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

C = fuerza en junta de expansión por unidad longitudinal de circunferencia (kgf/m) (C=0.25)

D = diámetro tubería (m) (D=0.356)

E = módulo de elasticidad (kgf/cm²) (Young)

f = coeficiente de fricción, tubo y soporte f=0.6 concreto-acero

L = longitud entre anclaje y junta de dilatación (m)

L' = longitud libre a ser soportada por soporte (m)

L'' = longitud libre a ser soportada por tramo de soportes (m)

p = presión hidrostática (incluyendo 15% sobrecarga) en el punto de interés (m)

Q = caudal (m³/s)

t = espesor de pared de tubería de presión (mm)

ΔT = diferencia de temperatura máxima de tubería ($^{\circ}\text{C}$)

W_p = peso de tubería por unidad de longitud (kgf/m)

W_w = peso de agua por unidad de longitud (kgf/m)

α = ángulo respecto del horizonte de tubería tramo arriba

β = ángulo respecto del horizonte de tubería tramo abajo

CALCULO DE CARGAS DINAMICAS									
	Wp	Ww	f=0.6						
TRAMO	PESO UNITARIO		FuerzasF1		FuerzasF2		FuerzasF3		
	TUBO	AGUA	soportes	sup. anclaje	inf anclaje	soportes	anclaje	anclaje	lateral
A-B	112.08	99.31	1242	621	632	745	3875	-551	
B-C	112.08	99.31	1265	632	621	759	13193	640	
C-D	112.08	99.31	1242	621	597	745	3324	781	
D-E	112.08	99.31	1193	597	613	716	5998	-644	2453
E-F	112.08	99.31	1226	613	550	736	3429	2147	
F-G	112.08	99.31	1101	550	430	660	7833	3654	
G-H	112.08	99.31	860	430	634	516	315	-9734	
H-I	140.10	99.31	1435	718	712	861	2726	1223	
I-J	140.10	99.31	1423	712	487	854	12138	9419	4526
J-K	140.10	99.31	974	487	718	585	2301	-12334	9109
K-L	168.13	99.31	1603	802	638	962	2751	9720	
L-M	168.13	99.31	1277	638	713	766	5652	-3344	
M-N	196.15	99.31	1575	788	769	945	3781	896	
N-O	196.15	99.31	1538	769	765	923	3693	191	
O-P	196.15	99.31	1531	765	886	918	14559	-14017	
P-Q	252.19	99.31	2109	1054	1055	1265	-211	-140	
	Kgf/m	Kgf/m	c/soporte			c/soporte	Kgf	Kgf	Kgf
			Kgf			Kgf			

CALCULO DE CARGAS DINAMICAS continuación							
TRAMO	FuerzasF4	FuerzasF5	dt	FuerzasF6	FuerzasF7	FuerzasF8	anclaje
	anclaje	anclaje	expansión	anclaje	anclaje	anclaje	lateral
A-B	777	35320	0.89	0.28	292	-8.72	
B-C	879	35320	2.65	0.28	339	8.72	
C-D	676	35320	0.79	0.28	383	9.42	
D-E	2021	35320	1.35	0.28	512	-5.82	22.14
E-F	886	35320	0.82	0.28	570	17.41	
F-G	4130	35320	1.85	0.28	832	20.29	
G-H	549	35320	0.23	0.28	881	-51.03	
H-I	123	44150	0.6	0.28	1107	6.38	
I-J	1673	44150	2.19	0.28	1206	45.08	21.66
J-K	2740	44150	0.71	0.28	1395	-51.03	37.69
K-L	136	52979	0.56	0.28	1679	40.1	
L-M	4816	52979	1.21	0.28	1993	-11.62	
M-N	2429	61809	0.72	0.28	2490	2.91	
N-O	2632	61809	0.72	0.28	2659	0.58	
O-P	9708	61809	2.43	0.28	3283	-34.51	
P-Q	3	79469	0.12	0.28	4257	-0.34	
	Kgf	Kgf	cm	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf

CARGAS DINAMICAS SOBRE ANCLAJES Y SOPORTES FINALES						
			F1+F2(+)	F1	+F2(--)	
	ANCLAJES		SOPORTES		SOPORTES	
TRAMO	fzas res	anclajes	fzas res	soporte	fzas res	soportes
	Horz.	Verti	Horz.	Verti	Horz.	Verti
A-B	5077	2785	478	1367	-982	1065
B-C	14470	1658	664	1317	-849	1206
C-D	4519	1287	478	1367	-982	1065
D-E	8436	4683	270	1365	-1078	880
E-F	4615	249	398	1374	-1025	998
F-G	10612	3652	26	1283	-1120	627
G-H	8374	9053	-282	963	-982	204
H-I	3968	364	803	1469	-918	1400
I-J	9385	-4193	654	1526	-1039	1295
J-K	13439	14461	-319	1090	-1112	231
K-L	-554	-6469	897	1641	-1025	1564
L-M	11199	11978	-164	1480	-1383	551
M-N	8438	4463	118	1833	-1562	967
N-O	8564	5601	37	1794	-1565	876
O-P	31157	27566	21	1785	-1565	858
P-Q	4055	2270	1255	2115	-1276	2102
	<u>c/anclaje</u>	<u>c/anclaje</u>	<u>c/soport</u>	<u>c/soport</u>	<u>c/soport</u>	<u>c/soporte</u>
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf

6. Curvas verticales y horizontales:

Las pérdidas de carga en las distintas curvas a lo largo de la tubería son en función del radio y su diámetro. En el diseño de estas curvas se optó por un grado de curva que se basa en un radio fijo y una longitud de curva unitaria, la cual solamente debe ser graduada según la necesidad de cada inflexión. En la tubería trabajada se cuenta con 12 curvas horizontales y tres curvas combinadas (horizontales y verticales). Los ángulos de las mismas varían entre 0.5° y 45° . Las curvas a construir tienen un radio fijo de $r = 3.0$ mts y se diseñaron sobre dos tuberías de $D = 14"$. Las longitudes de curvas varían entre 0.03 mts hasta 2.10 mts para las curvas de 45° .

7. Cimentaciones de soportes y anclajes:

El diseño de las cimentaciones de soportes y anclajes se basa en el cálculo de cargas dinámicas. Estas se calculan entre cada tramo considerando el peso, diámetro, caudal, coeficiente de fricción, coeficiente de dilatación, longitud, ángulo horizontal e inflexiones en planta.

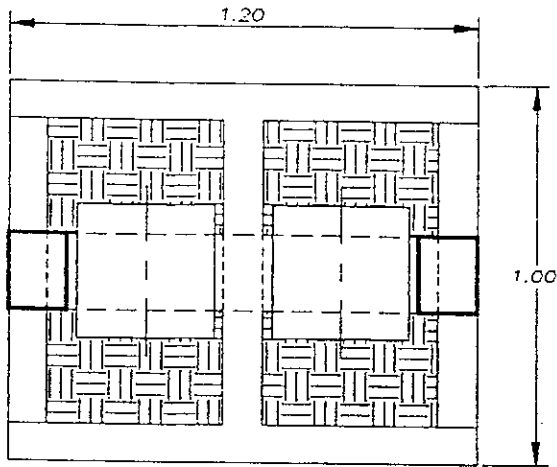
La finalidad de los soportes es cargar el peso del tubo y el agua del mismo. Este tipo de apoyo se brinda a lo largo de tramos rectos de la tubería a un distanciamiento regular de seis metros entre cada uno.

El anclaje es aquél que mediante su tamaño y masa evita que la cañería se mueva en respuesta a las cargas dinámicas que actúan sobre ellas. Se encuentran en cada cambio de pendiente y transmiten las fuerzas al suelo.

El cálculo de soportes se basa en un equilibrio estático para evitar volteo mediante la masa del soporte. Adicionalmente, el soporte debe evitar deslizamiento sobre el talud. Para estos cálculos se utilizó un factor de seguridad $FS = 2.5$, el cual es aceptado como parámetro muy conservador.

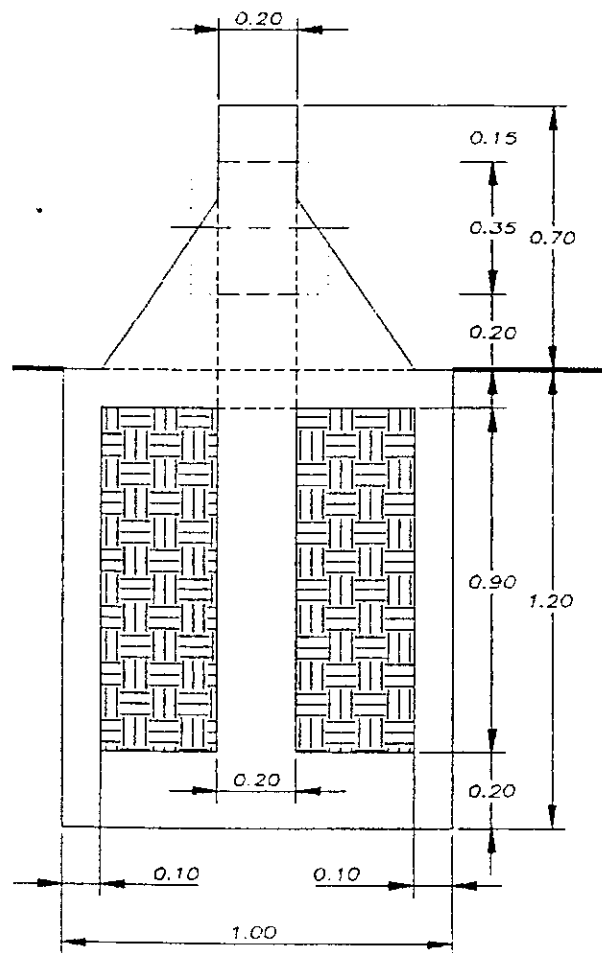
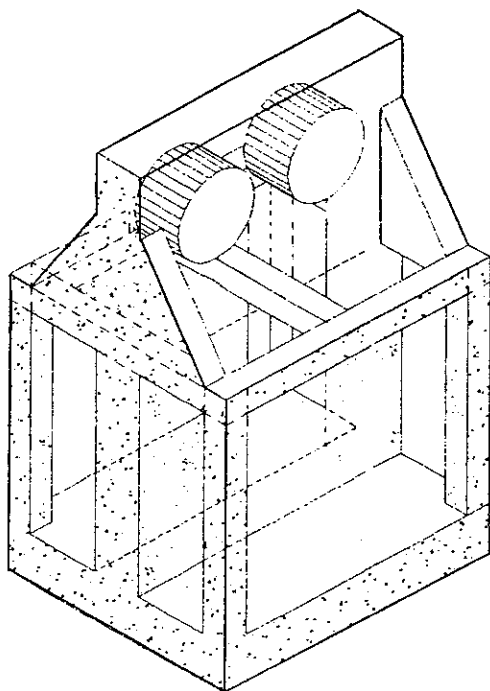
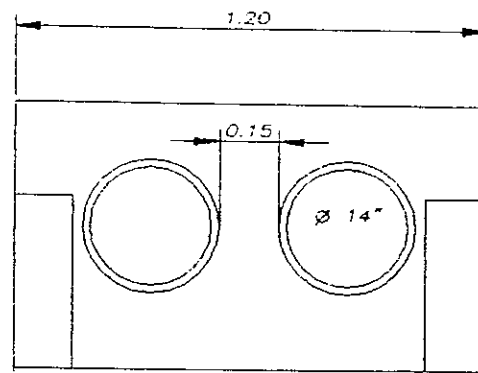
El cálculo de anclaje contempla que la tubería no puede moverse de lugar bajo ninguna circunstancia. Para su construcción se ha contemplado fundir los tramos de curvas dentro del anclaje. Debido que los anclajes son los que soportan mayor carga, estos son mucho mayores a los soportes y son más profundos. Para estos cálculos se utilizó un factor de seguridad $FS = 2.5$, que es reconocido como parámetro muy conservador.

Detalle de ANCLAJES



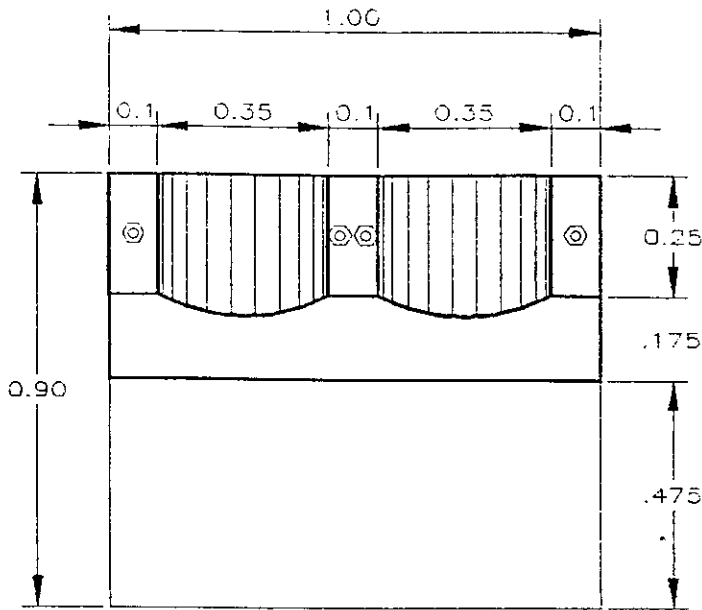
PLANTA

ELEVACION

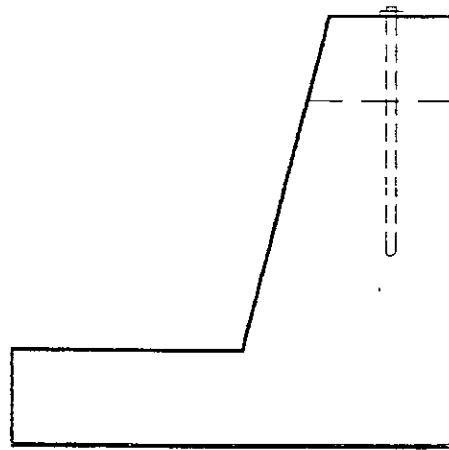


PERFIL

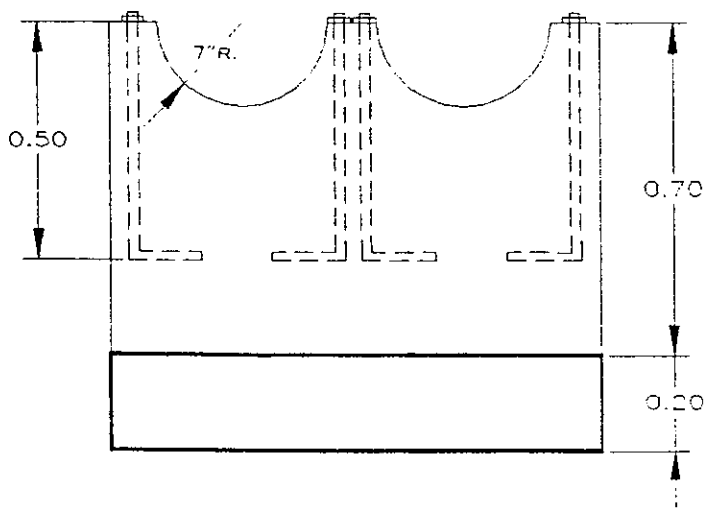
Detalle de SOPORTE



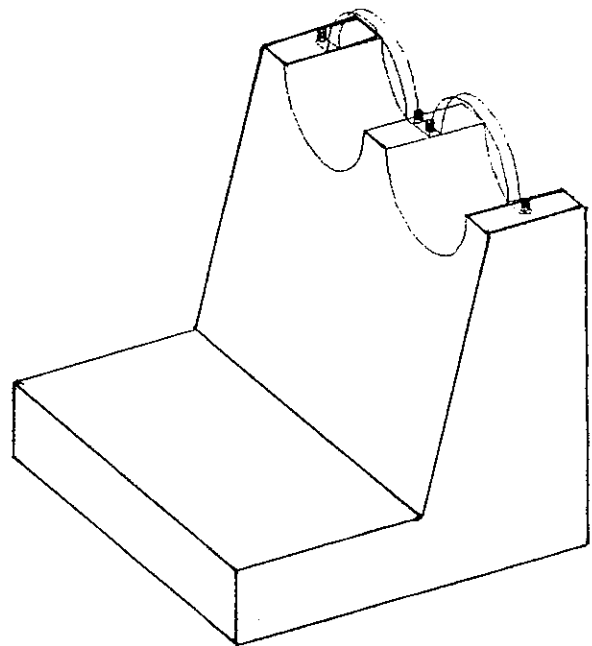
PLANTA



PERFIL DERECHO



ELEVACION



F. DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS

1. Turbina y Pitones:

Para este proyecto se utilizará una turbina de reacción PELTON, la cual trabajará con caudales bajos y presiones altas generando en un rango de 450 a 500 KW. Las características de la tubería de presión a utilizar han sido determinadas para ser enviadas al fabricante, que con base en la dureza del agua, carga total y caudal, recomendará la turbina adecuada. El diseño del pitón es actualmente calculado por el fabricante por contar éste con resultados de laboratorio en lo que respecta a turbulencias y fricciones internas en el pitón. Esta tecnología ha avanzado con base en experimentación y simulaciones por computadora, más exactas, por lo cual el fabricante aportará coeficientes de pérdidas de carga.

Las especificaciones para el fabricante son:

Proyecto Hidroeléctrico San Joaquín:

Caudal de diseño : 260 l/s

Carga total : 236.50 mts

Carga efectiva : 230 mts

Configuración: 2 tuberías de 14" en paralelo

Calidad del agua: muy dura

(610 mg/l Ca, 180 mg/L Mg, 792 mg/L total)

Altura de desfogue 1000 pies sobre el nivel del mar

Configuración sin embalse (run off river)

Requerimientos generales:

Una turbina pelton (480-500 KW)

Un generador 590 KVA, 480 VAC, 60hz (Brushless, sincrónico.)

Una válvula de seguridad para cada tubería (2 válvulas)

Una válvula de entrada de aire a la tubería (2 válvulas)

Detalles necesarios del fabricante:

1. Eficiencia real instalada y su forma de medición; de turbina, del generador,
2. Potencia a la salida del generador
3. Características principales de la turbina y generador
4. Características del gobernador y excitatriz
5. Revoluciones de turbina normal y máxima.
6. Revoluciones del generador normal y máxima permisible.
7. Velocidad de cierre de la válvula de aguja de la pelton para golpe de ariete máximo de 15%.
8. Acople entre turbina y generador
9. Protector de sobrecargas y pararrayos
10. Intervención del fabricante en el montaje, pruebas de recepción y período inicial de operación.
11. Garantías de fabricación, montaje y período inicial de operación.
12. Distribución de la casa de máquinas.

Diseño preliminar Canyon Industries, Inc.

Según recomendaciones del fabricante se utilizará:

Una turbina PELTON de impulso tangencial, diseñada a pedido, con dos pitones de agujas reguladoras de caudal. La velocidad de operación normal de la turbina será de 1200 RPM, y una velocidad máxima de 2180 RPM. La potencia generada por este proyecto será de 491KW. Para el diseño de la casa de máquinas se obtuvieron dimensiones aproximadas de maquinaria de 4.30mts x 3.00mts x 2.10mts de altura.

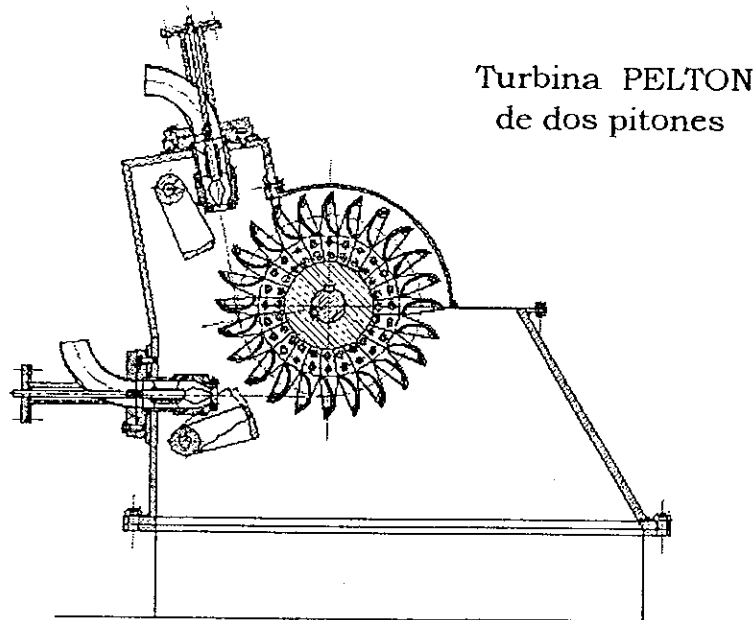
La rueda de impulso será fabricada de una pieza incluyendo alabes, cuerpo y eje. El acabado de alabes está diseñado para soportar esfuerzos de impacto del chorro de agua a velocidades normales y esfuerzos superiores generados en arranque y velocidades excesivas.

Los dos pitones de aguja están diseñados para un caudal de 130 L/s y una carga de 230 metros cada uno. El acabado de las agujas es de acero inoxidable altamente pulido.

El deflector es de acero ASTM A106 montado en cojinetes sellados y tiene una velocidad de cierre de 2 segundos en caso de emergencia.

La caparazón de la turbina está diseñada para evitar fricción y una evacuación eficiente del agua. Se utilizarán placas soldadas a una estructura envolvente para ponerla rígida y soportar la carga actuante.

Los cojinetes de la rueda de impulso son de tipo Torrington 22500 o equivalentes. Tienen una vida útil mínima de 175,000 horas, equivalente a 20 años.



2. Válvulas de seguridad:

El proyecto hidroeléctrico actual requiere de un mecanismo que detenga el flujo del agua, en caso sea necesario. Estas válvulas de seguridad pueden encontrarse al inicio de las tuberías de presión y antes de entrar a la casa de máquinas. La velocidad de cierre de estas compuertas es muy importante debido a que pueden generar presiones de golpe de ariete o presiones negativas, en caso se llegara a romper la tubería. En este proyecto se utilizarán válvulas de mariposa para tubería de 14", operada manualmente en la parte inferior, según recomendación del fabricante de la turbina. La compuerta inferior debe tener una velocidad de cierre regulada para no generar presiones adicionales a las calculadas en la tubería. La velocidad de cierre de la válvula de aguja será de 310 segundos, según recomienda el fabricante.

Cabe notar que las turbinas pelton utilizan un deflector que evita la sobrecarga hasta que la válvula de aguja cierre totalmente. En la parte superior de la tubería de presión se utilizará una chimenea de entrada de aire que evita se generen presiones negativas en la parte alta de la tubería de presión. Se utilizarán dos válvulas de entrada de aire en ambas tuberías antes del anclaje G estación 0+0122.40 para evitar presiones negativas en la tubería forzada.

3. Cimentaciones:

La cimentación de la casa de máquinas debe resistir la carga de volteo dinámica que el agua hace sobre la turbina para intercambiar la energía. El deslizamiento es evitado por tratarse de un anclaje gradual, el cual consta de un bloque de 4.5 x 5.0 metros en planta, cuyo perfil es escalonado desde 4 metros de profundidad en la parte inicial, 3 en la parte central y 2 metros en el tercer tramo. El factor de seguridad utilizado es de F.S.=2.5, que es aceptado como parámetro muy conservador.

G. SELECCIÓN DEL GENERADOR

1. Generador

El Generador será fabricado por "Kato Engineering", Mankato, Minnesota y será de tres fases, sincronizado, de 1200RPM, 491 KW, 480 VAC., de eje horizontal.

Según especificaciones del fabricante, el generador será de: 491KW, 1200RPM, 6 polos, 60Hz, tres fases 480VAC, construcción para evitar entrada de agua en la parte superior (driproof construction), aislamiento clase F para clima tropical y controles de temperatura de giro.

2. Transferencia de energía

En la unión de turbina y generador se utilizará un sistema de cojinetes independientes directamente acoplado mediante una unión flexible. Este tipo de acople reduce las vibraciones torcionales.

3. Pararrayos y protección de sobrecargas

En la configuración actual se ha contemplado sobrecargas para el bajo voltaje en el panel de controles, pero sí se utilizarán tres pararrayos a lo largo de la línea de interconexión al INDE ó a la línea hacia el consumidor industrial.

H. TRANSFORMACIÓN Y PROTECCIONES

1. Transformadores y sistema eléctrico

El sistema eléctrico que se requiere para un proyecto de generación, industrial privada y el de una cogeneración con interconexión al sistema del INDE o Sistema de Interconexión Nacional (SIN), varía en lo que a protección y costo corresponde. Dado que para una generación continua y garantizada, el INDE es un potencial consumidor, se planteará una posible conexión.

Para conectarse al sistema nacional, se ha detectado una línea de 13000 Voltios que conduce energía hacia Pueblo Viejo a unos 400 mts de distancia de la casa de máquinas. Para transferir la energía del generador (486KW @ 480Vac) hacia la línea, se requiere de una línea trifásica de aproximadamente cuatrocientos metros de longitud. Esta línea será suspendida de cuatro postes de concreto de treinta pies hasta llegar a la línea de alta tensión. En este lugar se instalarán tres transformadores de 480 VAC a 13000 VAC. para poder conectar. Cabe notar que para esta instalación se necesita un diagrama unifilar diseñado y aprobado por el INDE. Adicionalmente se requiere: un interruptor recloser con fusible; la protección del generador para absorber potencia inversa y posibles voltajes altos o bajos; relevadores y el interruptor general del generador.

El diseño para una industria sería mucho menor, dado que no se tienen variaciones de sobrecarga, potencia inversa, voltajes altos o bajos de tan grande magnitud.

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO

A. COSTOS ESTIMADOS

1. Obras civiles

El proyecto trabajado consta de varias obras civiles para las cuales se han estimado costos. El precio final de obras civiles tendrá un sobre costo administrativo y de supervisión de 12%. Para la construcción de este proyecto se utilizará concreto de 3000 psi, arena y pedrín de bancos locales.

OBRAS CIVILES:	COSTO EN \$
Bocatoma:	\$ 800.-
Desarenador:	\$ 335.-
Canales de Conducción	\$ 8,965.-
Entrada de la tubería	\$ 885.-
Excavaciones y pasos de calles	\$ 6,150.-
Anclajes (15 unidades @ \$1000 c/u)	\$ 15,000.-
Soportes (100 unidades @ \$120 c/u)	\$ 12,000.-
Casa de máquinas obra superior	\$ 4,000.-
cimentaciones	\$ 9,800.-
Casa para materiales y guardianía	\$ 5,000.-
Costo neto obra civil:	= \$ 62,935.-
administración y supervisión 12%	+ \$ 7,552.-
Costo total real:	= \$ 70,487.-

2. Tuberías

El proyecto tiene dos tuberías de 725 metros de longitud de distintos espesores unida por medio de flanges soldados a cada lado y atornillados a cada 30 pies entre tubo y tubo. Cada tubo tendrá dos capas de pintura anticorrosivo rojo Fuller y estará despegado como mínimo 20 centímetros del suelo para evitar corrosiones y humedad innecesaria. El

precio de la tubería se ha determinado por su peso a razón de \$ 1420.- la tonelada.

TUBERÍA DE PRESIÓN:	COSTO EN \$
Costo de 108.23 Ton @ \$1420.- c/T	\$ 153,700.-
Costo de dos llaves de compuerta alta presión @ \$4500.- c/u	\$ 9,000.-
Costo de dos llaves de compuerta baja presión @ \$1500.- c/u	\$ 3,000.-
Costo de una Y de 14"	\$ 6,000.-
Costo de dos válvulas de entrada de aire	\$ 2,600.-
Costo total:	\$ 174,300.-

3. Turbina y Generador

El valor cotizado por la empresa Canyon Industries, contempla generador y turbina de 500 KW y tiene un valor de:

TURBINA Y GENERADOR	COSTO EN \$
Costo de Turbina y Generador	\$ 88,200.-
Costo de flete e impuestos (20%)	\$ 17,640.-
Costo total:	\$ 105,840.-

4. Accesorios

Los accesorios recomendados por el fabricante contemplan interfases, sistema de protección eléctrico y tienen un valor de:

ACCESORIOS	COSTO EN \$
Costo de accesorios eléctricos	\$ 38,870.-
Costo de flete e impuestos (20%)	\$ 7,774.-
Costo total:	\$ 46,644.-

5. Línea de Transmisión

La línea de transmisión para interconexión con el INDE requiere una variedad de elementos que ascienden a un costo de:

LÍNEA DE TRANSMISIÓN	COSTO EN \$
Costo de línea, materiales e instalación:	\$ 45,000.-

6. Gastos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento se basan en cuatro empleados de tiempo completo en dos turnos y el personal requerido para dismantelar cada tubería en sus distintos tramos para darle limpieza al sarro depositado en la tubería.

MANTENIMIENTO	COSTO EN \$
Costo de personal encargado, materiales, herramientas, pintura, repuestos varios e imprevistos:	\$ 21,675.- anual

Para este proyecto se han proyectado inspecciones regulares de personal de la fábrica cada 10 años, con un costo de \$10,000.- cada una y repuestos del fabricante, necesarios durante el período de funcionamiento de la turbina de aproximadamente \$20,000.- por década de uso.

7. Gastos Legales

El costo estimado de manejo legal se basa en negociaciones con entidades gubernamentales INDE y la contratación de la energía generada.

GASTOS LEGALES	COSTO EN \$
Costo contratos por 5 años @ \$2,000 c/a:	\$ 10,000.-

8. Mano de obra Extranjera

La instalación y tiempo de prueba de la turbina requiere de asistencia de profesionales de la fábrica, lo cual cuesta:

MANO DE OBRA EXTRANJERA	COSTO EN \$
Costo de dos visitas de una semana respectivamente @ \$10,000.- c/u.	\$ 20,000.-

9. Costo de inversión total:

COSTO DE INVERSIÓN TOTAL	\$ 484,950.-
---------------------------------	---------------------

B. INGRESOS ESTIMADOS

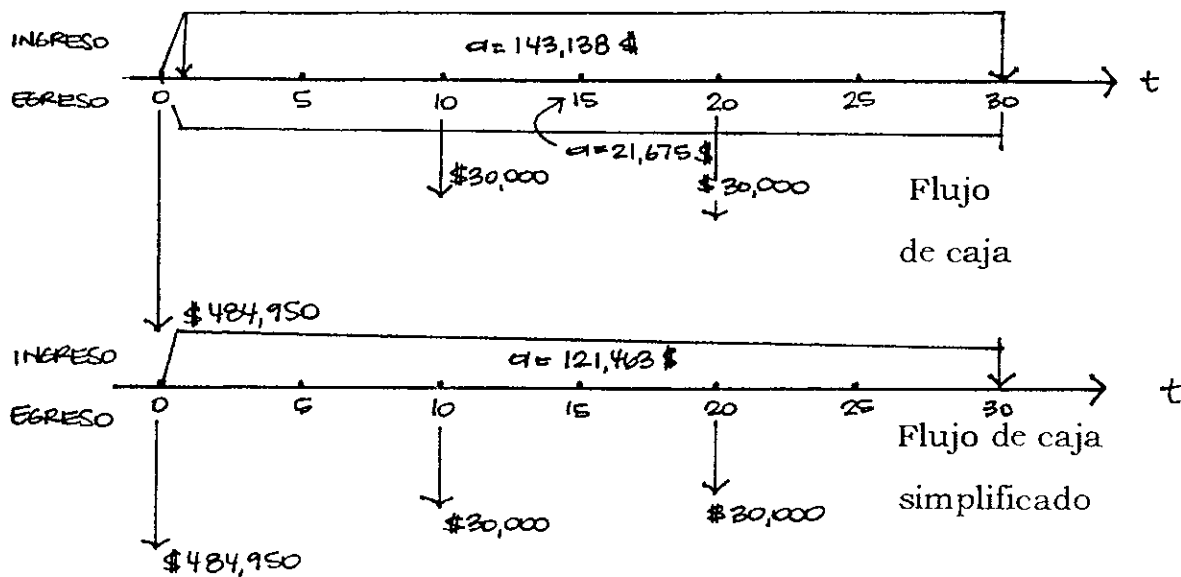
El calculo de los ingresos estimados se basa en la energía entregada al INDE en un período anual a un costo de 0.04\$/Kwh. Para este cálculo se tiene una producción de 490 Kwh a la salida del generador.

Al contemplar pérdidas de carga por transmisión se estima que se entregarán 475 Kwh. Esto equivale a un total anual de 475Kwh x 8760 hrs/anuales = 4,161,000 KW anuales, los cuales a un costo de 0.04\$/Kwh, significan un valor bruto de \$.166,440.- anuales.

El pago de impuestos estimados para un proyecto de esta índole se estima en 14% equivalente a \$ 23,302.- anuales. Esto se transforma en un ingreso neto de **\$ 143,138.- anuales.**

C. RENTABILIDAD

Para establecer la rentabilidad de este proyecto se utilizará una tasa de interés compuesta discreta de $i=6\%$. Seguidamente se transformaran los ingresos y egresos a valor presente neto(VPN). El período de vida estimado es de $a=30$ años.



$$VP(\text{egresos}) = \{\text{Inversión}\} + \text{mantenimiento} \{P/a (6\%-30a)\} + \text{inspecciones} \{P/F (6\%-10a)\} + \text{ins.} \{P/F (6\%-20a)\}$$

sustituyendo valores:

$$VP(\text{egresos}) = \$484,950 + \$21,675 \times \{13.7648\} + \\ + \$30,000 \times \{0.5584\} + \$30,000 \times \{0.3118\}$$

operando:

$$VP(\text{egresos}) = \$484,950 + \$298,352 + \$16,752 + \$9,354 =$$

$$VP(\text{egresos}) = \underline{\$809,408.-}$$

VP (ingresos)= Ingreso {P/a (6%-30a)}

sustituyendo valores:

VP (ingresos)= \$ 143,138 x {13.7648} = \$ 1,970,265.-

VPN = VP(ingresos)- VP (egresos) = \$1,970,265 - \$ 809,408

VALOR PRESENTE NETO : **VPN = \$ 1,160,857.-**

El proyecto hidroeléctrico San Joaquín cumple con pagar el valor de inversión de 6% de interés y devenga una ganancia neta en el periodo de treinta años de \$ 1,160,857.- (moneda dura US \$). Sí se recomienda su construcción lo más pronto posible.

V. BIBLIOGRAFÍA

INGENIERIA ECONOMICA 1994, Leland T. Blank y Anthony J. Tarquin.
Tercera Edición, Mc Graw-Hill/ Interamericana de México, S.A.
México.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR 1987. Hojas Cartográficas No 2162III
Cobán. Escala ampliada 1:22,500. Guatemala.

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS 1992. Victor L. Streeter y E. Benjamin
Wylie. Octava edición, Mc Graw-Hill/ Interamericana de México, S.A.
México.

MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES 1993. George B. Sowers.
Séptima edición, Editorial Limusa, S.A., México

MICRO-HYDROPOWER SOURCEBOOK 1990. Allen R. Inversin. "A
Practical Guide to Design and Implementantation in Developing
Countries". NRECA International Foudation, Washington, D.C.,
U.S.A.

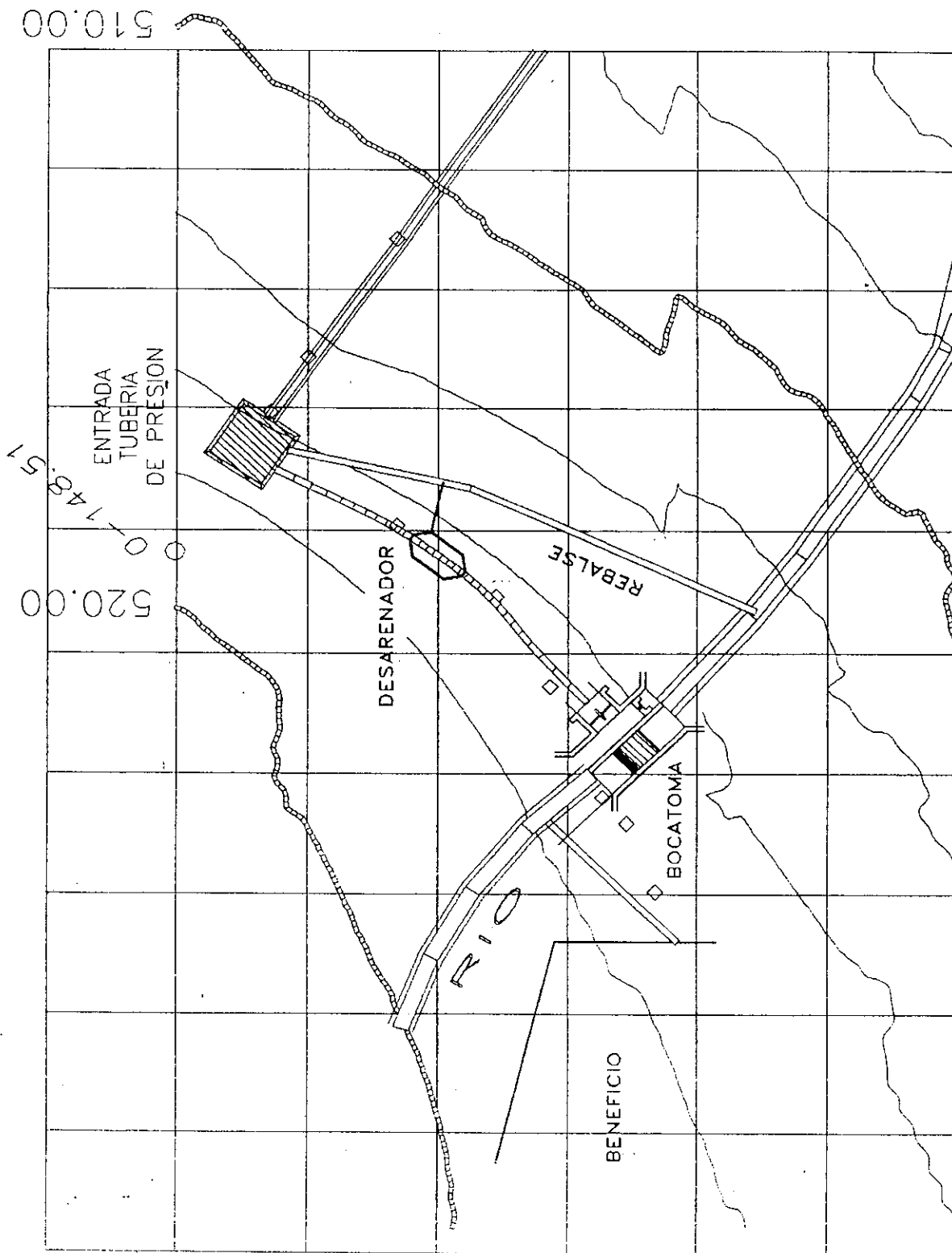
APÉNDICE A

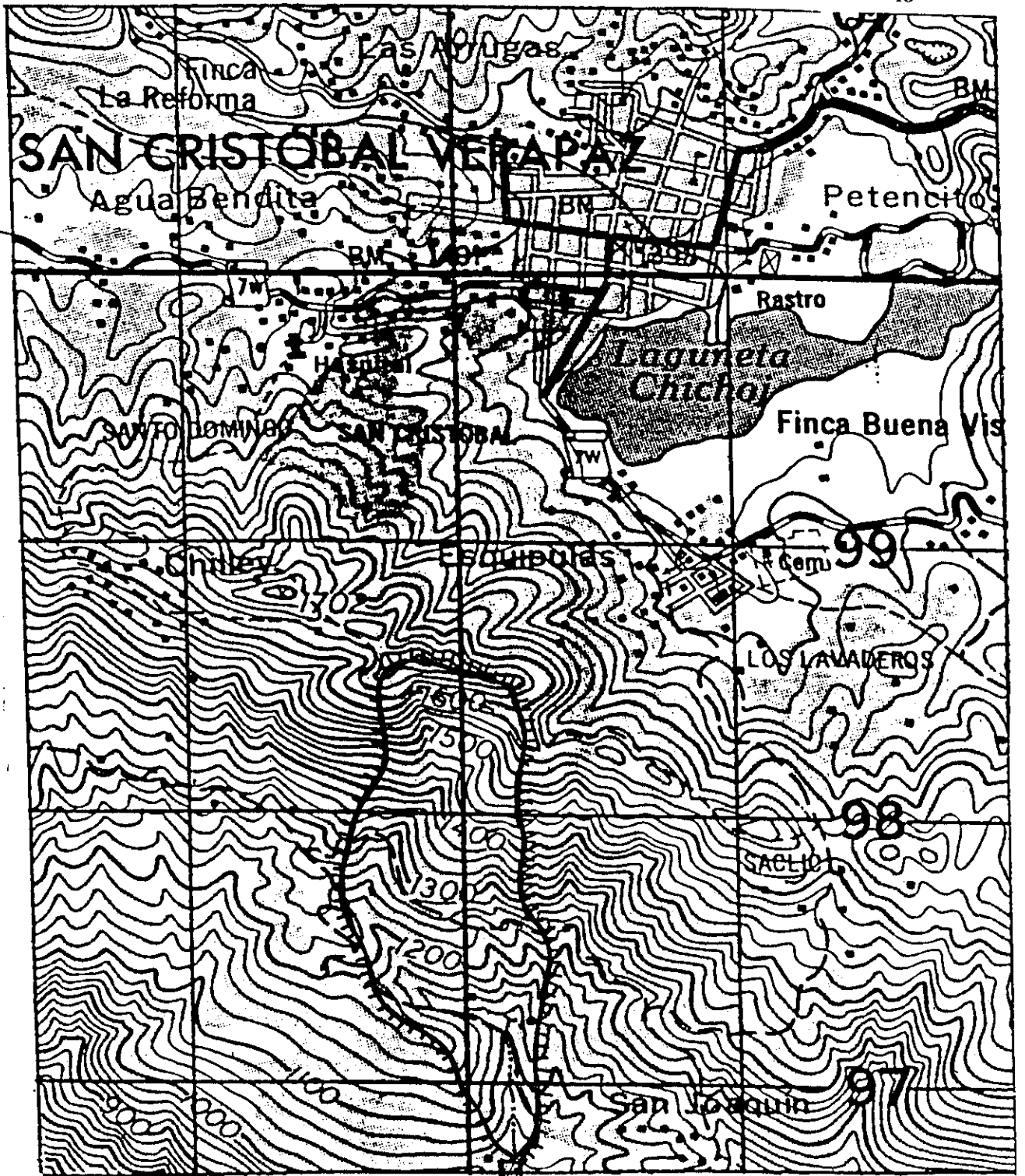
1. MAPAS

2. COTIZACIONES DE TURBINA Y GENERADOR

3. TABLAS DE COEFICIENTES HIDRÁULICOS

Vista en planta de obras Civiles



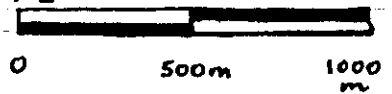


90°30' 769000m.E.

770

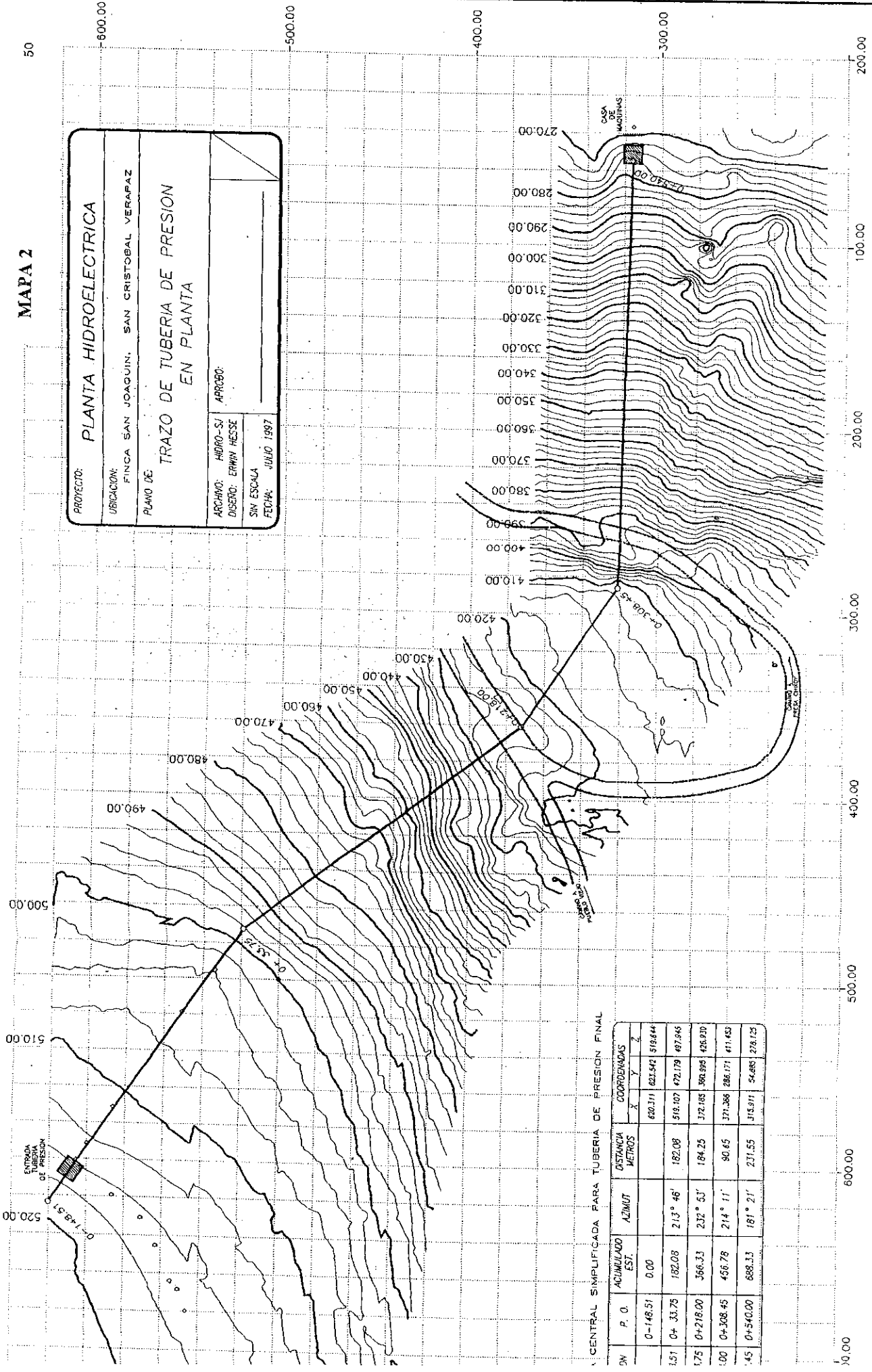
771

7



MAPA 1 Ampliación de hoja Cobán 2162 III (IGM)
 Cuenca analizada
 Area : 924,177 m²
 escala 1 : 22500 aproximada

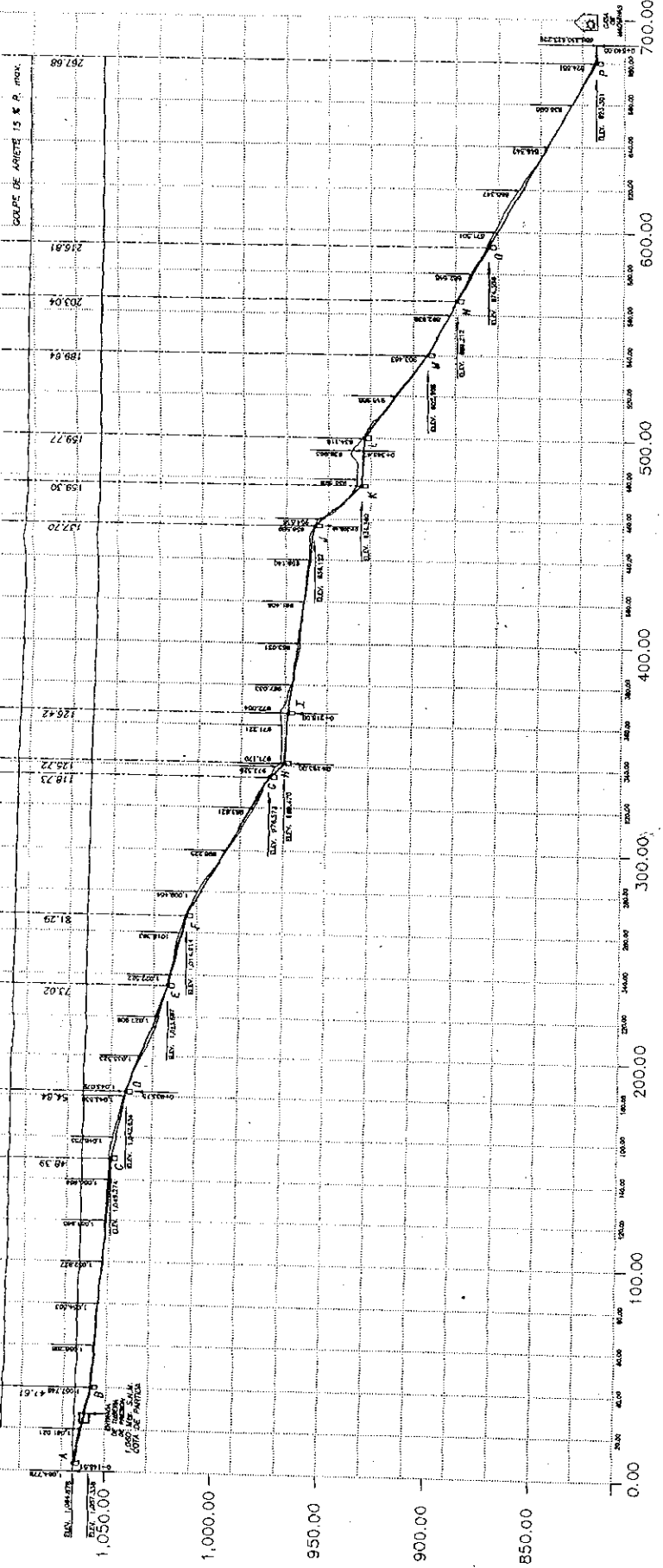
PROYECTO:		PLANTA HIDROELECTRICA	
UBICACION:		FINCA SAN JOAQUIN, SAN CRISTOBAL VERAPAZ	
PLANO DE:		TRAZO DE TUBERIA DE PRESION EN PLANTA	
ARCHIVO:	HIDRO-SJ	APROBO:	
DISENO:	ERWIN HESSE	SIN ESCALA	
FECHA:	JULIO 1987		



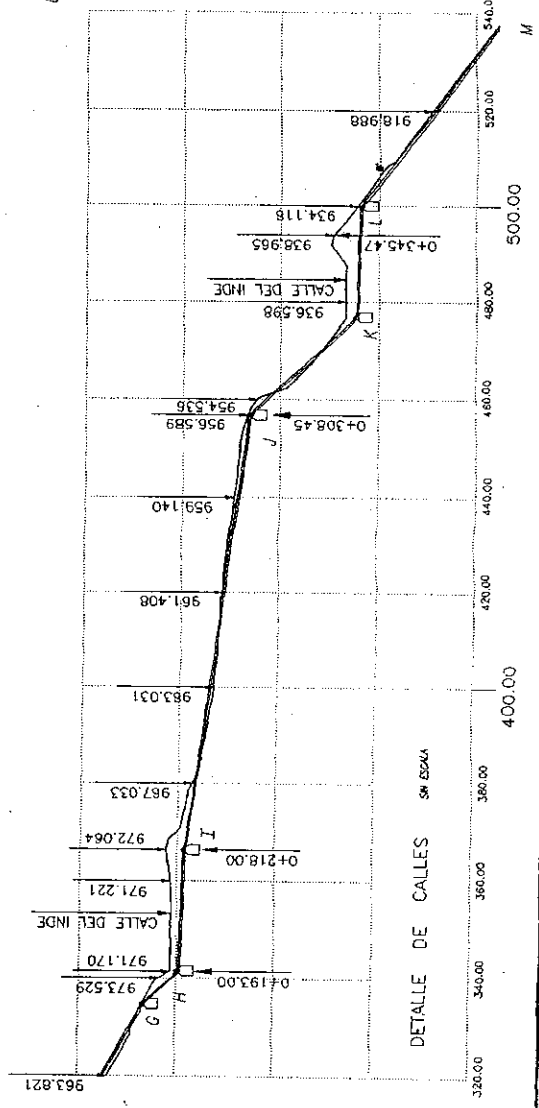
CENTRAL SIMPLIFICADA PARA TUBERIA DE PRESION FINAL

DN	P. O.	ACUMULADO EST.	AZIMUT	DISTANCIA METROS	COORDENADAS		
					X	Y	Z
1.51	0+31.75	182.08	213° 46'	182.08	518.107	472.179	407.945
1.75	0+218.00	366.33	232° 53'	184.25	372.185	380.095	426.030
1.00	0+508.45	456.78	214° 11'	90.65	371.388	286.171	411.633
1.45	0+540.00	668.33	181° 21'	231.55	314.911	54.685	278.125

DIFERENCIA DE NIVEL



DISTANCIA ACUMULADA EN PERFIL SIN ESCALA



PROYECTO:	PLANTA HIDROELECTRICA
UBICACION:	FINCA SAN JOAQUIN, SAN CRISTOBAL VERAPAZ
PLANO DE:	PERFIL DEL TERRENO
ARCHIVO:	SUPER-1
DISENO:	EDWIN NISSE
SWY ESCALA:	
FECHA:	JULIO 1997
APROBADO:	

DETALLE DE CALLES SIN ESCALA

CANYON INDUSTRIES, INC.

5346 MOSQUITO LAKE RD.
OEMING, WA 98244

52

June 5, 1997

PRELIMINARY DESIGN SPECIFICATIONS

491 KW HYDROELECTRIC PROJECT

For

Ing. Oswaldo Hesse T.
1325 N.W. 93 Court Unit B-102
Miami, Florida 33172

Project Data: Variable flow to 260 L/S.
Static head, 236.5M, 327 PSI.
Effective head, 230M at 260 L/S.

General Equipment Specifications:

Turbine: Canyon Custom designed horizontal shaft, double infinitely variable flow needle nozzle tangential impulse (Pelton) type turbine.

Generator: Kato Engineering, 1200 RPM, 486 KW, 480 VAC, three phase, synchronous.

Configuration: Turbine and generator with separate bearing system, direct coupled using a flexible coupling.

1.0 Turbine Assembly:

1.1 Speeds:

Normal1200 RPM
Maximum2180 RPM

1.2 Design Output491 KW

1.3 Generator Speed Normal1200 RPM
Generator Speed Maximum2180 RPM

1.4 Approximate Dimensions:

Length, inlet to turbine back4.3 M
Width, turbine and generator.....3.0 M
Height2.1 M

2.0 Impulse Turbine Runner:

2.1 Material:

Stainless steel allow, high abrasion resistance, high tensile strength.

- 2.2 Construction:
Buckets, disc, and hub integrally cast as a single unit, machined and keyed to turbine shaft. Discs and buckets designed to withstand stress of jet impact of normal speeds, as well as all forces created during start up and runaway speeds. Bucket spacing clearances and shape designed for maximum performance and durability.
- 2.3 Finish:
Each bucket shape ground and polished to a high finish. Non-hydraulic surfaces shall be hand polished to reduce windage drag.
- 2.4 Runner Shaft:
Ground and polished 4140 Chrome molly steel; keyed for generator shaft mounting to runner hub.
- 2.5 Balance:
Runner shall be statically balanced while on runner shaft, dynamically balanced to speed exceeding runaway speeds.
- 3.0 Nozzle Assembly:
- 3.1 Number and Type:
Two (2) infinitely variable flow needle type nozzle, each with a design flow 130 L/S at 230 M head.
- 3.2 Materials:
Nozzle assembly body of fabricated ASTM A106 steel. Nozzle needle and beak of stainless steel, highly polished.
- 3.3 Actuator:
Nozzle assembly provided with hydraulic nozzle actuator, complete with visual nozzle position indicator, and hydraulic power supply unit.
- 3.4 Hydraulic System:
Custom designed and built, to include the following major components:
- (1) M1-P1-T10-V1A Stone Hydraulic Power Unit
 - (2) VS5M-3A-GB-60L Continental Valve
 - (1) VS5M-1A-GB-60L Continental Valve, jet deflector
 - (1) VS5M-6A-GB-60L Continental Manifold
 - (1) MDOL-37-M4 Continental Manifold
 - (1) #1H-R500 Barksdale Pressure Switch
 - (1) Greer Bladder Accumulator
 - (1 Lot) Control and check valves, rigid and flexible tubing.

4.0 Jet Deflector:

4.1 Construction:

Constructed of ASTM A106 steel, with stainless steel shaft, mounted on sealed ball bearings.

4.2 Actuator:

Jet deflector opened hydraulically, closed in 2 seconds by weighted arm. Jet deflector control arm weighted for fail-safe closure.

5.0 Turbine Housing:

5.1 Design:

Turbine housing designed for maximum efficient escape of water and efficient windage reduction.

5.2 Materials:

Housing weld fabricated of ASTM A36 plate steel, gusseted and reinforced. Frame constructed of welded structural steel for maximum rigidity and strength.

5.3 Coating System:

Outside and inside turbine piping sandblasted to near white surface. Inside coating Ameron paint. Outside coating Ameron Amerlock 400, color medium blue.

6.0 Bearing Assemblies:

6.1 Type:

Double row spherical roller bearings, Torrington 22500 series pillow block or equivalent. Factory recommended lubrication static oil. Bearings fitted with lube sight gauge. Designed for a minimum B-10 life of 175,000 hours.

6.2 Bearing Seals:

Each bearing sealed from internal turbine waters by means of a non-wearing labyrinth seal assembly including a centrifugal slinger, labyrinth cage, centrifugal cups, and cover plate with neoprene backup seal. Seal design disallows admittance of outside contamination of internal turbine waters.

7.0 Generator:

7.1 Manufacturer: Kato Engineering, Mankato, Minnesota.

- 7.2 Specifications:
491 KW, 1200 RPM, 6 pole, 60 hertz, three phase, 480 VAC, open dripproof construction, horizontal shaft, Class F tropical insulation, with temperature switches in windings.

- 8.0 Controls and Switchgear:
 - 8.1 Manufacturer: Bat Electric, Redding, California.
 - 8.2 Specifications:
See attached "Switchgear Description".

- 9.0 Spare Parts:
 - 9.1 Included with turbine package are the following spare parts:
 - One (1) Set turbine main bearings.
 - One (1) Set deflector shaft bearings.
 - One (1) Set seals.

- 10.0 Turbine Isolation Valve:
 - 10.1 Manufacturer: Keystone Valve Company, Houston, Texas.
 - 10.2 Description:
Two (2) each 14" Keystone Butterfly Valve, Figure 370-104, ANSI Class 300, 700 PSI rating for shut off with carbon steel body, wafer style with 316 SS disc, 17-4 Ph stainless steel shaft, with handwheel gear operator.

- 11.0 Operation and Maintenance:
 - 11.1 Complete instructions and maintenance manuals will be provided for turbine, generator, and related components.
 - 11.2 A factory representative will be made available at turbine site for system installation, testing, adjustment, and to instruct local personnel in operation and maintenance at additional cost. Current rates are described in the attached "General Provisions for Field Service".

- 12.0 Attachments:
 - Switchgear Description
 - Expected Efficiency Curve
 - Standard Warranty
 - General Provisions for Field Service
 - Equipment Owners

CANYON INDUSTRIES

5346 MOSQUITO LAKE RD.
DEMING, WA 98244

56

WARRANTY

Seller warrants that as to fabrication and assemblies all material and equipment purchased by it and incorporated in or becoming a part of the work shall be new, unless otherwise directed in writing by the Buyer. Seller warrants that all material and equipment manufactured by it shall be free from injurious defects, latent or otherwise, and shall conform to the specifications provided. If within 18 months after shipment of any such material or equipment, or within one year after such material or equipment is placed in use or operation, whichever first occurs, Buyer (or Buyer's successor in interest) shall discover a defect or defects therein other than those resulting from either ordinary wear and tear, defects resulting from improper use thereof, and additions or alterations made by persons other than Seller, and shall notify Seller thereof, in writing, within such period, Seller will repair or replace such defective material or equipment or the defective portion or part thereof free of charge to Buyer (or Buyer's successor in interest) FOB Seller's plant, except for costs of removal and installation.

Seller does not warrant or guarantee materials or equipment which it does not design, but will use its best efforts to obtain for Buyer such guarantees as requested by Buyer. Unless otherwise advised, in writing by Buyer, Seller shall incorporate in every purchase order to suppliers of material and equipment for Buyer, its customary warranty and guarantee requirements.

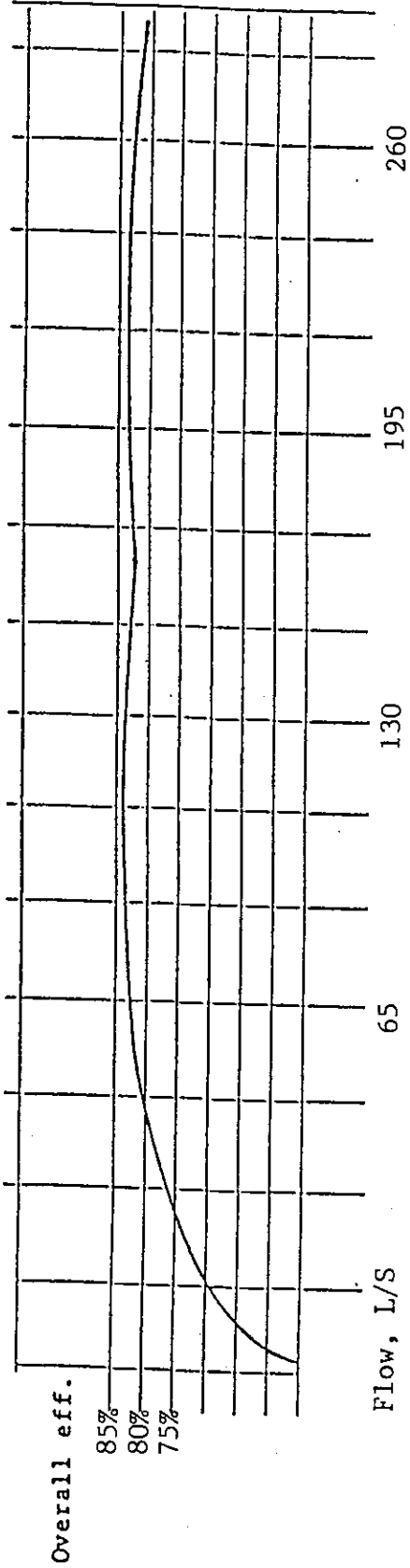
Except as above specified, Seller will not be liable upon any guarantees or warranties, expressed or implied, statutory or by operation of law or otherwise, in any manner or form whatsoever, including but not limited to warranties of merchantability and/or fitness for purpose.

Except as above specified, Seller will not be liable for any costs, expenses or damages whatsoever, including but not limited to loss of interest, earnings, profits or other special indirect or consequential damages.

EXPECTED EFFICIENCY, TURBINE & GENERATOR

For

SAN JOAQUIN HYDRO PROJECT



CAPACITY	FLOW	HEAD	KW	OVERALL EFFICIENCY
100%	260 L/S	230 M	491	83.8%
75%	195 L/S	232 M	373	84.0%
50%	130 L/S	234 M	250	84.1%
25%	65 L/S	236 M	125	82.9%

CANYON INDUSTRIES, INC.

5346 MOSQUITO LAKE RD.
DEMING, WA 98244

58

GENERAL PROVISIONS FOR FIELD SERVICE

RATES

Domestic	Weekdays	\$600/day
	Overtime	\$110/hour
	Weekends & Holidays	\$110/hour

Transportation:

Personal or Corporate automobile \$0.35/mile

Air, rail, rental car, etc. will be charged out at cost plus 10% processing charge.

Travel Time - Travel time will be billed at the straight time hourly rate Mondays through Fridays and at the weekend rate for Saturdays, Sundays, and Holidays.

Standby Time - Any waiting time when the Representative is available to work, up to a maximum of eight (8) hours on any one working day, shall be regarded as time actually worked, even though the services are not actually utilized. The rate is not proratable for partial days.

Delays - Canyon Industries, Inc. shall not be liable for delay in performance when such delay is occasioned by causes beyond its reasonable control, including but not limited to acts of God, acts of the customer, material shortages, transportation difficulties, flood, strikes, epidemics, war (declared or undeclared), riot, etc.

Emergency Work - The minimum time off for a representative during any 24 hour period must be eight (8) consecutive hours.

Rates subject to change without notice.

Terms of Payment - A deposit equal to 50% of anticipated charges due upon request for field representative. Payment for services and material will be due upon presentation of invoices.

VALORES APROXIMADOS DE K (pérdidas locales)

A C C E S O R I O	K
Ampliación gradual	0.30*
Boquillas	2.75
Compuerta abierta	1.00
Controlador de caudal	2.50
Codo de 90°	0.90
Codo de 45°	0.40
Rejilla	0.75
Curva de 90°	0.40
Curva de 45°	0.20
Curva de 22°30'	0.10
Entrada normal en tubo	0.50
Entrada en borda	1.00
Existencia de pequeña derivación	0.03
Confluencia	0.40
Medidor Venturi	2.50**
Reducción gradual	0.15*
Válvula de ángulo abierto	5.00
Válvula de compuerta, abierta	0.20
Válvula tipo globo, abierta	10.00
Salida de tubo	1.00
T, paso directo	0.60
T, salida de lado	1.30
T, salida bilateral	1.80
Válvula de pie	1.75
Válvula de retención	2.50
Velocidad	1.00

* Con base en la velocidad mayor (sección menor)

** Relativa a la velocidad en la tubería

Adaptado de:
 Manual de Hidráulica
 Azevedo y Alvarez

Ing. Rodolfo González Morasso
 Catedrático

VALORES DEL COEFICIENTE n

Fórmula de Manning

NATURALEZA DE LAS PAREDES	n
Mampostería de piedra bruta	0.020
Mampostería de piedras rectangulares	0.017
Mampostería de ladrillos, sin revestido	0.015
Mampostería de ladrillos, revestida	0.012
Canales de concreto, terminación ordinaria	0.014
Canales de concreto, con revestimiento liso	0.012
Canales con revestimiento muy liso	0.010
Canales de tierra en buenas condiciones	0.025
Canales de tierra, con plantas acuáticas	0.035
Canales irregulares y mal conservados	0.040
Conductos de madera cepillada	0.011
Barro (vitrificado)	0.013
Tubos de acero soldado	0.011
Tubos de concreto	0.013
Tubo de hierro fundido	0.012
Tubos de asbesto-cemento	0.011

Adaptado de:
Manual de Hidráulica
Azevedo y Alvarez

Ing. Rodolfo González Morasso
Catedrático

