

PROYECTO

HUAPANTE


P R O Y E C T O " H U A P A N T E "

Tesis previa a la obtención del Grado
de INGENIERO ELECTROTECNICO en la
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

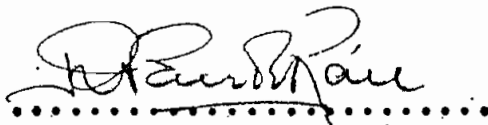
Quito - Ecuador

1. 955

Autor del Proyecto y
Director de Tesis:


.....
Ing. Dimitri Kakabadse

Alumno:


.....
Roberto Páez Terán

Introducción:

El Proyecto "Huapante", cuyo autor es el Ing. Dimitri Kakabadse, es un proyecto realmente notable y digno de tomarse en cuenta, tanto desde su punto de vista revolucionario de la economía misma de las Provincias de Cotopaxi y Tungurahua principalmente, así como desde su punto de vista de condiciones técnicas inmejorables, como podrá apreciarse en el desarrollo del presente trabajo.

Desgraciadamente, como hace notar en la Memoria que sobre este Proyecto tiene presentada el Ing. Kakabadse, faltan aún varios datos para poder dar una apreciación exacta de la potencia final a obtenerse en Kilowatios; datos éstos que no se los puede precisar ni conseguir, ya sea porque las posibilidades económicas, tanto del Ing. Kakabadse, como las del que suscribe el presente trabajo no lo permiten, así como por imposibilidades debido a que en nuestro País aún no se ha hecho nada por instalar y mantener estaciones meteorológicas que se encarguen de llevar un registro de las precipitaciones pluviométricas en las diferentes regiones y zonas del Ecuador, registros que son los que pueden proporcionar un dato que viene a ser la base segura para poder realizar números sobre los posibles recursos hidráulicos a aprovecharse en otras tantas posibles instalaciones de centrales hidroeléctricas.

La base del Proyecto "Huapante" es el almacenamiento de las aguas lluvias y de nevazones en los páramos de la Cordillera Oriental de los Andes, a la altura de la población de Pillaro, en las lagunas existentes de Quillupaccha y de Pisayambo, almacenamiento que permite obtener por medio de los correspondientes desagües de las lagunas mencionadas hacia el Río Yanayacu un caudal constante y disponible de cuatro metros cúbicos por segundo ($4 \text{ m}^3/\text{s}$), caudal destinado sola y exclusivamente a la producción de energía eléctrica, mediante su aprovechamiento en el Proyecto "Huapante", sin que se tome ni un solo litro de agua del caudal normal y corriente del Río Yanayacu o Huapante.

Además, como se describe en la Memoria del Ing. Kakabadse, existe la posibilidad de almacenamiento de agua en tres o cuatro lagunas pequeñas que se encuentran en la misma región y que a su vez desaguan hacia el Río Yanayacu, y que permitirían aumentar aún más, aunque sea en un metro cúbico por segundo más, el caudal disponible para la producción de la energía que se requiera para las necesidades cada vez más crecientes de la ciudad de Ambato especialmente.

Este almacenamiento de aguas en las lagunas de la Cordillera Oriental va a realizarse por medio de compuertas en la salida de cada uno de los ríos que sirven de desagüaderos naturales de las mismas o sea en otras palabras; va a realizarse un embalse de las aguas consiguiendo con este trabajo aumentar la superficie de las lagunas inundando los terrenos adyacentes, por cuanto al aumentar o elevar el nivel de las aguas al cerrar las salidas con compuertas, tiene que aumentar forzosamente la superficie de almacenamiento de aguas en las lagunas ya mencionadas.

Este trabajo de almacenamiento de aguas, a más de servir como tal, o sea que venga a permitir tener un caudal constante de cuatro metros cúbicos por segundo disponibles en cualquier época del año y destinados sólo para el Proyecto de la central hidroeléctrica, va a servir de sistema regulador del Río Yanayacu o Huapante, puesto que al realizar los embalses en las lagunas de la cordillera, orígenes del Río, toda el agua de los torrenciales aguaceros y nevazones que caen en la región de los páramos, va a depositarse en las lagunas y no van a ir directamente al Río Yanayacu como sucede en la actualidad, dando por resultado las frecuentes y catastróficas crecientes de este Río. Así que esta obra de almacenamiento de aguas, siendo hecha para el objeto primordial de proveer del caudal de metros cúbicos por segundo necesarios para la planta eléctrica, sin tomar para nada en cuenta las aguas que en tiempo normal lleva el Río Yanayacu, es además el primer trabajo existente en el Ecuador, que permite controlar y regular el caudal de un Río.

Sea como fuere este aspecto del almacenamiento de las aguas en las lagunas y si los cálculos estimativos de dicho almacenamiento varíen respecto a las cifras de los metros cúbicos y superficies, hay dos puntos fundamentales y sobre todo reales desde el punto de vista técnico y que son: la caída bruta de 400 metros hacia el Río Cutuchi, y la longitud de 12 kilómetros que tiene el desarrollo del canal de conducción, teniéndose en cuenta que con un levantamiento topográfico de la región que atravieza el canal, en una faja de 20 a 30 metros de ancho, pudiera ser que se llegue a acortar esta longitud de 12 Kilómetros y se conseguiría reducir aún cuando sea un centavo el costo de producción de la energía eléctrica, que es a donde van encaminados los estudios y cálculos realizados, puesto que éste constituye el otro aspecto que le hace digno de tomarse en cuenta a la realización del Proyecto Huapante, éste de que el kilowatio-hora generado en las condiciones que se describirán en el desarrollo de este trabajo, va a ser el más barato de todos los kilowatios-hora generados en cualquier central generadora de energía eléctrica del País existente al momento; y hay que anotar que mientras más barata es la energía generada, más alto se vuelve el nivel de vida, y una zona, una provincia o un País en donde se puede obtener energía eléctrica a bajo costo, es una zona, una provincia o un País que progresa debido al incremento de sus industrias, fuentes de bienestar y riqueza, y a esto es a lo que se debe tender en el Ecuador: a progresar, gracias a la energía eléctrica barata, máxime que nuestro territorio y especialmente el de la región interandina, es pródigo en recursos naturales que permiten llegar a las fuentes del progreso, como sería en el caso concreto del Proyecto Huapante, para la electrificación de la Provincia de Tungurahua en su totalidad.

Proyecto Huapante.- Datos Generales

=====

Cotas:

Bocatoma:	2.940 mtrs. s.n.del mar
Tanque desarenador:	2.936,87 mtrs.
Canal abierto revestido:	2.936,87 mtrs.(principio)
Túnel revestido:	2.935,85 mtrs.(principio)
Canal abierto no revestido:	2.931,52 mtrs.(principio)
Tanque de presión:	2.930,00 mtrs.
Casa de máquinas (al piso):	2.530,00 mtrs.
Río Cutuchi:	2.510,00 mtrs.

Canal:

Longitud total aproximada:	12.000	mtrs. = 12 Km.
Canal abierto revestido:	1.000	mtrs. = 1 Km.
Túnel revestido:	7.700	mtrs. = 7,7 Km.
Canal abierto no revestido:	3.300	mtrs. = 3,3 Km.

Características del canal:

De la bocatoma al desarenador:	$v = 2,00$ m/s.
Del desarenador al túnel:	$v = 1,00$ m/s.
Túnel revestido:	$v = 1,00$ m/s.
Canal no revestido:	$v = 0,75$ m/s.

Caudales:

Caudal disponible en el Río Huapante durante el tiempo de estiaje riguroso, respetando todos los derechos de aguas establecidos y existentes y sin almacenamiento: $Q = 1000$ ltrs/s = 1 m³/s

Caudal disponible por almacenamiento: $Q = 4000$ ltrs/s = 4 m³/s

Caída:

Caída bruta:	400 mtrs ± 20 mtrs.
Caída neta:	390 mtrs ± 20 mtrs.

.....Datos generales

Potencia:

sobre 390,00 mtrs. de caída y sin considerar la regulación diurna: 18.720 HP = 12.674 Kw
con $\eta_{gen} = 92\%$

Gradientes calculadas:

Gradiente del Río en la bocatoma:	2,08%
Bocatoma-desarenador:	4,13 ‰
Desarenador-túnel:	0,52 ‰
Túnel-canal no revestido:	0,63 ‰
Canal no revestido-tanque de presión:	0,46 ‰

Datos del almacenamiento:

(Tomados de la Memoria del Ing. Kakabadse)

Para el tiempo de estiaje:

Laguna Quillupaccha:

actual superficie:	0,7 Km ²
elevación barata de nivel:	11 mtrs.
superficie después de elevar el nivel en 11 mtrs:	2,00 Km ²
$= (2 + 0,7) \times 11$	15.000.000 m ³

Laguna Pisayambo:

actual superficie:	2,5 Km ²
elevación barata de nivel:	5,00 mtrs.
superficie después de elevar el nivel en 5 mtrs:	3,5 Km ²
lo que da un almacenamiento de:	
$= (2,5 + 3,5) \times 5$	15.000.000 m ³

Areas de drenaje:

Laguna Quillupaccha:	50 a 70 Km ²
Laguna Pisayambo:	80 a 100 Km ²
Resto del Río Yanayacu o Huapante hasta la bocatoma del Proyecto:	400 Km ²

..... Datos generales:

Precipitaciones:

en los páramos: 1000 a 1200 mm. por año
Duración del verano: 3 a 4 meses (Octubre,
Noviembre, Diciembre y Enero).

Estiaje riguroso por apreciación: 45 días

El almacenamiento de 30.000.000 de metros cúbicos daría un caudal de 3.000 ltrs/s durante 115 días.

Derechos de aguas establecidos:

Río arriba del bocacaz:

acequias: Villagómez, Cumbijín, Galpón Alto, Galpón bajo y otras propiedades pequeñas que prácticamente devuelven sus aguas al Río Yanayacu o Huapante, todo esto viene a sumar unos: 2.000 ltrs/s.

Río abajo del bocacaz:

Municipio de Salcedo para riego: 800 ltrs/s.

Planta Eléctrica de Salcedo: 600 ltrs/s.

Molinos particulares más abajo de la Planta Eléctrica que trabajan con las aguas del Río después deservir a la Planta Eléctrica:

Caudal aforado en la toma de Salcedo durante el tiempo de estiaje: 2.400 ltrs/s

Sobrante utilizable para el Proyecto Huapante en tiempo de estiaje: 1.000 ltrs/s

Tiempo aproximado de recprrido de las aguas desde el sitio de almacenamiento hasta la bo-
catoma del Proyecto: 5 a 6 horas

Distancias de Línea de transmisión:

A la ciudad de Ambato: 18 Kms.

A la ciudad de Quito: 100 Kms.

A la ciudad de Salcedo: 3 Kms.

Desarrollo del trabajo sobre el Proyecto "Huapante"

Bocatoma:

La bocatoma del Proyecto Huapante se encuentra ubicada a una cota de 2.940 mtrs. de altura sobre el nivel del mar, en los potreros de San Antonio de la Hacienda Yanayacu del Señor Juan Barberis en la Parroquia de San José de Poaló, y en las márgenes del lado derecho (aguas arriba) del Río Yanayacu o Huapante.

En el sitio determinado y escogido como el más apropiado para la ubicación de las obras del dique de contención, necesario para que las aguas al ser elevadas de nivel en esta forma puedan penetrar al canal de conducción, el Río Yanayacu tiene un ancho de 28 a 30 metros, con una profundidad de sus aguas de 1,00 a 1,30 mtrs. en tiempos de caudal normal.

Refiriéndonos al plano de la planta de la bocatoma signado como plano (1), a continuación va la descripción de cada uno de los elementos que constituyen las obras de bocatoma propiamente dicha.

Dique de contención:(1)

El dique de contención que tiene que construirse en el Río Yanayacu para que las aguas puedan ser elevadas de nivel normal para que puedan penetrar al canal de conducción, va a ser de obra de mampostería o sea de piedra con mortero de cemento, con una longitud total de 30 metros y con una altura de cresta sobre el lecho del Río de 2,50 mtrs

Su perfil, o mejor dicho el perfil del escarpe del dique de contención está ilustrado en el plano (2), en el cual pueden apreciarse tanto las dimensiones del dique, como su forma misma y con sus características para el empotramiento que va a tener que ser con dientes para evitar el deslizamiento del dique, ya que así se consigue aumentar el valor del coeficiente de fricción, debido a que el suelo en el lecho del Río está formado por materiales de arrastre de las aguas: piedras, limo, arena y no presenta por lo tanto una base para cimentación muy sólida, es por esta razón por la que se determina que el empotramiento del dique se lo haga con dientes en su base,

para asegurar aún más el que no se produzca un posible deslizamiento del dique debido al empuje de aguas arriba.

El dique de contención tiene que ser construido y calculado para resistir empujes de crecientes, que en el Río Yanayacu llegan a veces a los 400 metros cúbicos por segundo, caudal éste que con una velocidad de las aguas de 5 a 6 metros por segundo produce verdaderas catástrofes. En estas condiciones de creciente máxima, las aguas van a subir a una altura de:

$Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ y si admitimos una velocidad de $v = 6 \text{ mtrs/s}$, se tendrá que se obtiene un valor para la sección de contención de:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{400}{6} = 67 \text{ m}^2$$

y la altura "h" a la cual van a subir las aguas será de:

$$h = \frac{S}{l} = \frac{67}{30} = 2,2 \text{ mtrs.}$$

siendo "l" la longitud útil del dique o sea la de 30 mtrs.

De modo que la altura "h" a la cual van a subir las aguas en las condiciones de máxima creciente va ser de 2,2 mtrs.

Esta altura "h" a la cual van a subir las aguas es necesario tener en cuenta para poder calcular el perfil del escarpe del dique (según Creager) y además para poder ubicar las instalaciones de la compuerta de limpia (2) a una altura sobre los 2,2 mtrs. y especialmente para poder construir las obras de defensa laterales que van a consistir en muros de mampostería que rodeen aquellas playas que ofrezcan facilidad a inundarse con una elevación del nivel de las aguas en el Río, para evitar la destrucción de las obras de la bocatoma.

La altura "h" que se determinó que es de 2,2 mtrs. viene a ser sobre la cresta del dique, que a su vez también viene a resultar el espesor de la lámina vertiente para el cálculo del perfil del escarpe del dique.

La altura de 2,50 mtrs. que se ha determinado para el dique desde su base a la cresta es suficiente para poder elevar el nivel normal de las aguas del Río hasta que éstas puedan penetrar por el orificio lateral sumergido que da acceso a las

aguas hacia los demás elementos de la obra hidráulica del Proyecto.

Compuerta de limpia: (2)

La compuerta de limpia es un elemento necesario e indispensable en una obra de bocatoma de las características de la que se va a construir para el presente Proyecto. Esta compuerta de limpia (2) sirve para desalojar los materiales arrastrados por las aguas del Río y que de otra manera se acumularían a la entrada del orificio sumergido, tapando por completo e impidiendo el acceso del agua al canal de conducción y además ensuciaría las aguas.

Esta compuerta de limpia va a tener como dimensiones: 2,00 mtrs. de ancho por 2,50 mtrs. de alto y va a ser del tipo de ventana, accionada por un mecanismo de doble cremallera como el que se ilustra en el plano (3). El material de esta compuerta tiene que ser acero, puesto que al igual que el dique de contención va a resistir empujes debidos a máximas crecientes de hasta 400 mtrs. cúbicos por segundo.

Callejón de arrastre: (3)

Se denomina así al elemento signado con el número (3) en el Plano de la Planta de la Bocatoma y cuya función es como su nombre lo está indicando, facilitar el arrastre hacia la compuerta de limpia (2), de los materiales que ha traído en sus aguas el Río, como son piedras, arena gruesa, un poco de limo y pedazos de ramas de árboles etc.

Este arrastre hacia la compuerta de limpia se facilita debido a la gradiente mayor que se le da en su desarrollo al callejón, gradiente que puede oscilar entre los 2% a 4%, siendo la aceptada para nuestro caso la de 4% puesto que el Río tiene como gradiente en el sitio de la bocatoma, como ya se determinó, 2,08 %.

El callejón de arrastre tiene en su desarrollo una longitud de 20 metros y debe ir recubierto de cemento para darle una superficie lo más lisa posible para facilitar más aún el arrastre de los materiales por el agua mismo hacia la salida de la compuerta de limpia.

calcular la sección "S" necesaria que va a tener el orificio sumergido a base de:

$S = \frac{Q}{v_m}$; reemplazando los valores conocidos se tiene:

$$S = \frac{4}{1,104} = 3,6 \text{ m}^2; \text{ y como la altura "h"}$$

del orificio sumergido la hemos fijado en 0,30 mtrs., luego esta superficie de 3,6 m² va a descomponerse en:

$S = 0,30 \times 12,00 = 3,600 \text{ m}^2$, queda pues establecido que el orificio sumergido va a tener 0,30 m de altura por 12,00 m de largo.

Es necesario poner en el orificio sumergido la denominada reja gruesa que también va ilustrada en el plano (4), para evitar la entrada de cuerpos extraños flotantes especialmente como palos, ramas etc, que arrastra el Río. Esta reja gruesa va a ser de barrotes de hierro de dos pulgadas de diámetro y que van a ir distribuidos a lo largo de los 12,00 m de largo del orificio sumergido a 0,40 m uno con otro de espaciamiento.

El borde superior del orificio sumergido como puede apreciarse en el plano (4) está a la misma altura de la coronación de la cresta del dique.

Es necesario calcular las pérdidas que por fricción se producen al paso del agua por la reja gruesa. Estas pérdidas por fricción se las calculan a base de la fórmula que dice:

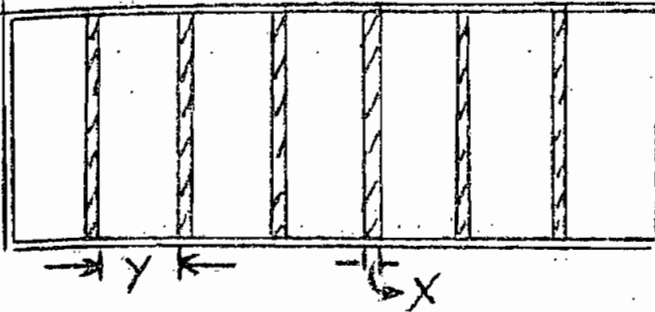
$$h_w = \frac{V_r^2 - V_o^2}{2g}$$

Para poder aplicar esta fórmula tenemos que encontrar primeramente el valor de V_r que representa la velocidad que tiene el agua a su paso por la sección reducida ya por la consideración del espesor de los barrotes de la reja gruesa, y así tenemos que:

$S_t = 3,60 \text{ m}^2$; $l =$ luz entre barrote y barrote = 0,40 m.
 $e =$ diámetro de cada barrote = 50 mm.; $V_o = 1,104 \text{ m/s}$.

S' = Sección útil que queda descontando la sección que ocupan los barrotes de la reja gruesa y que viene calculada

en la siguiente forma; haciendo la consideración de que la parte ocupada por los barrotes y el espacio entre barrotes y barrotes representan un valor en por ciento de la sección total del orificio sumergido:



$$\% = \frac{X}{X + Y}$$

siendo $X = 50 \text{ mm} = e$

siendo $Y = 400 \text{ mm} = l$

$$\% = \frac{50}{50 + 400} = \frac{50}{450}$$

$$\% = \frac{1}{9} = 0,11\%, \text{ que repre-}$$

senta una superficie de $0,29 \text{ m}^2$ con relación a la sección total S_t que es el 100% y cuyo valor es $3,60 \text{ m}^2$.

La velocidad V_r que tiene necesariamente que ser mayor que la velocidad V_0 por la consideración del estrechamiento de sección, viene calculada así:

$$V_r = \frac{Q}{S'}$$

siendo $S' = 3,60 - 0,29 = 3,31 \text{ m}^2$ y como $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$. reemplazamos estos valores y tenemos:

$$V_r = \frac{4}{3,31} = 1,20 \text{ m/s. Y si aplicamos estos valores}$$

obtenidos, en la fórmula que nos da las pérdidas " h_w " tendremos que:

$$h_w = \frac{1,44 - 1,22}{19,62} = 0,011 \text{ mtrs.}$$

Así que el valor de las pérdidas por fricción producidas al paso del agua por la reja gruesa representan $0,011 \text{ mtrs}$.

Vertedero de control: (5)

El vertedero de control es un elemento en la obra de la bocatoma, que sirve para que el exceso de agua que pudiera y que de hecho entra en condiciones que no son las normales, por el orificio sumergido y por encima del muro lateral en el que se halla éste, sea desalojada por él.

Este vertedero de control tiene que ser calculado y previsto para un exceso de agua que esté por encima de los 4 metros cúbicos que son los que se van a emplear en la instalación y tiene que ser tal que permita desaguar este sobrante

de agua; este cálculo viene en la siguiente forma:

Q_v = caudal que va a ser desalojado o evacuado por el vertedero

Q_e = caudal entrante en condiciones anormales por el orificio sumergido.

Q_u = caudal a utilizarse o sean los 4 m³/s.

Ahora bien, el caudal entrante Q_e viene a ser el que preñete por la sección del orificio sumergido pero con una velocidad del agua correspondiente a la altura relativa a la que alcanzan las aguas en crecientes máximas: " h_c " y que vale: la altura de 2,20 mtrs. que alcanza el agua sobre la cresta del dique, más la altura " h " del orificio sumergido de 0,30 mtrs., o sea que el valor de " h_c " es igual a 2,5 mtrs., y con esta altura podemos obtener la velocidad correspondiente a base de:

$$V = \sqrt{2gh_c} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,5} = \sqrt{49} = 7 \text{ m/s.}$$

Y si admitimos un coeficiente de contracción de 0,6 tendremos que el valor de la velocidad va a ser de 4,20 m/s., con esta velocidad podemos despejar el valor del caudal entrante y tenemos:

$$S = \frac{Q_e}{v}; \text{ de donde el valor de } Q_e \text{ será de:}$$

$$Q_e = S \times V = 3,60 \times 4,20 = 15,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Así que el caudal a desaguarse por el vertedero de control será de:

$$Q_v = Q_e - Q_u = 15,12 - 4,00 = 11,12 \text{ m}^3/\text{s.}$$

De modo que el vertedero de control tiene que ser tal que permita la salida de un caudal de 11,12 metros cúbicos por segundo, y si admitimos que este caudal va a salir con una altura de lámina vertiente de 0,35 mtrs. que es una altura admisible, estamos en posibilidad de calcular las dimensiones del vertedero a base de la fórmula que dice:

$Q = 2/3 \times \mu \times b \times h \sqrt{2gh}$; lo que tenemos que encontrar es el valor de " b " que es el largo del vertedero, y si reemplazamos los valores tenemos:

$$11,12 = 0,42 \times b \times 0,35 \times \sqrt{19,62 \times 0,35}$$

lo cual nos da un valor de:

$$b = \underline{28} \text{ mtrs. de largo del vertedero}$$

El vertedero de control va a un costado del muro de mampostería que sirve de iniciación al canal de conducción, en la parte correspondiente a la embocadura de la trampa de grava, tiene que ir recubierto de cemento para presentar mejor superficie de deslizamiento al agua y con un perfil adecuado que remata en una plataforma también de mampostería de piedra con mortero de cemento. Las aguas que representan el exceso son desaguadas directamente al Río, como puede apreciarse en el plano (1) de la planta de la bocatoma.

Trampa de Grava:

La trampa de grava es un elemento que tiene su función en una obra de bocatoma y que consiste, o mejor dicho sirve para que los materiales que arrastra el Río y que han penetrado por el orificio sumergido que da acceso al canal de conducción, a pesar de la reja gruesa colocada en dicho orificio, sean arrastrados por medio del agua mismo y gracias a la fuerte gradiente del 5% que se le da a esta trampa de grava, hacia la salida situada en la parte más honda de la trampa, para ser desalojados a través de la compuerta de limpia, indicada como (6) en el plano (1) de la planta de la bocatoma.

La trampa de grava para el Proyecto Huapante que se ha previsto, tiene una longitud total de 40 metros, desde el muro en el que está verificado el orificio sumergido, hasta su parte más honda a la salida en la compuerta de limpia. La gradiente que se ha determinado como suficiente para este caso es la de 2% o sea que la parte más honda va a tener una diferencia de 0,80 mtrs. con el principio de la trampa de grava.

La limpieza de la trampa de grava, de todos los materiales de depósito así como los de arrastre, son desalojados como ya se indicó por medio del agua mismo por la compuerta de limpia que desagua directamente hacia el Río.

A la salida de la compuerta de limpia se debe hacer un canal de desagüe con una gradiente relativamente fuerte para facilitar así el arrastre de los materiales hacia el Río. Este canal preferiblemente debe ir recubierto de cemento para ofrecer mejor superficie de deslizamiento.

de la compuerta (6) con tablonces de madera empernados y de un espesor de 8 a 10 cms. y teniendo como dimensiones: 2,00 mtrs. de ancho por 1,60 mtrs. de alto

Por fin para terminar la enumeración y descripción de los elementos que constituyen la obra de bocatoma del Proyecto, hay que decir algo a cerca de las obras de defensa que son necesarias e imprescindibles para el caso presente, obras de defensa que van a constituir en muros de mampostería de piedra con mortero de cemento y que van a ir situados a las dos márgenes del Río Yanayacu para evitar que en las crecientes el Río se salga de su curso y rodee las obras como el dique de contención, trampa de grava y principio del canal de conducción propiamente tal.

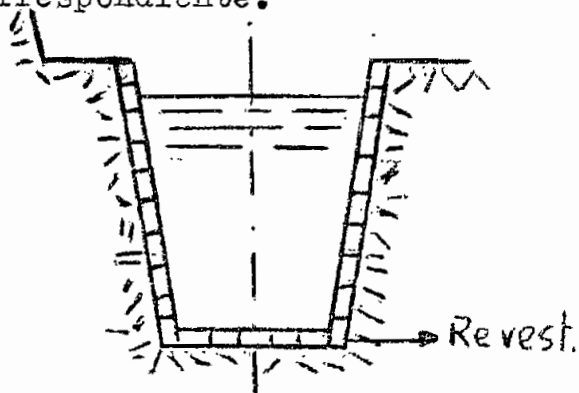
Estos muros de defensa tienen que ser de mayores dimensiones en cuanto al ancho de su base como al alto del muro mismo, en las márgenes del lado derecho (aguas arriba) del Río, ya que hacia este lado existen playas de fácil acceso a las aguas de crecientes, o sea que son playas que están casi al nivel de las aguas del Río en tiempos normales y por lo tanto son muy propensas a inundarse, y con sólo colocar el dique de contención en el curso del Río, produciéndose el consiguiente aumento de nivel por el remanso que se forma, estas playas ya se inundaría, máxime en caso de crecientes del Río. No así al lado izquierdo (aguas arriba) del Río, en donde existen elevadas colinas de un material rocoso y sumamente resistente a la acción de las aguas, pero que a pesar de todo necesitan que se las proteja con muros empotrados en la roca de la colina, cuidando de que el empotramiento se realice perfectamente para evitar filtraciones que pueden acarrear fallas en estos muros de defensa.

Los muros de defensa que van a ser de mampostería de piedra con mortero de cemento van a tener como dimensión en su base alrededor de 1,20 a 1,80 mtrs., dimensiones que van a oscilar de acuerdo a la situación misma del muro de defensa, ya que los muros que van a ser colocados de frente casi a la dirección de las aguas, van a recibir mayores empujes y por lo tanto sus dimensiones van a ser mayores que los muros que tan sólo estén sirviendo de contención lateral o paralela a las aguas.

Para fijar las dimensiones de las bases de los muros de defensa, hay que partir de la consideración que por normas de construcción se fija que deben ser por lo menos iguales a la mitad de la altura a la que sube el agua y en nuestro caso va a ver ocasiones que en caso de crecientes máximas, el agua va a llegar a subir 2,20 mtrs. sobre la cresta del dique, es por esta razón que habrá bases de ciertas partes de los muros de defensa que tendrán al rededor de 2,30 mtrs. de ancho.

Canal de conducción:

A partir de la compuerta (7) que es la que sirve de control de las aguas para el canal, viene ya el desarrollo del mismo en una longitud de unos 120 mtrs. hasta el tanque desarenador del cual trataremos en su acápite correspondiente.



El canal como características tiene que va a ser revestido con molón de piedra y mortero de cemento, este revestimiento se hace necesario en este tramo de canal debido a la calidad de los terrenos que tiene que atravesar, ya que éstos son propensos a permitir filtraciones y más que todo a derrumbarse por cuanto están formados de un conglomerado nada o poco estable. Además como otra característica del canal tenemos que va a ser trapezoidal con otro dato más y es que la velocidad de las aguas en este tramo de canal va ser de 2,00 m/s por cuanto es necesario que no se puedan formar depósitos de arena o limo en este trayecto anterior al tanque desarenador, y dando al agua una velocidad de 2,00 m/s. se facilita así el arrastre de materiales hacia el tanque desarenador en donde se va a procurar limpiar lo más posible el agua que vaya a utilizarse en las turbinas.

Las dimensiones del canal en este tramo son: 0,42 mtrs. en la base y con una altura de agua que llega a 1,90 mtrs., y el revestimiento con molón de piedra va a tener un espesor de 0,25 mtrs. para evitar las filtraciones, con mortero de cem

Además de revestir el canal en este tramo, con molón de piedra para evitar las filtraciones, se hace necesario este revestimiento debido a que la velocidad del agua es de 2,00 m/s. y en un terreno sin revestimiento y de las características del que se presentan en este punto del canal, se produciría erosión en el fondo y en las paredes del canal y por fin se hace necesario el revstimiento en este tramo por cuanto hay que evitar depósitos de materiales arrastrados por las aguas y que en este tramo todavía es bastante sucia.

La sección "S" del canal viene calculada a base de:

$S = \frac{Q}{v}$ y si $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $v = 2,00 \text{ m/s}$, tendremos reemplazando estos valores que la sección vale:

$$S = \frac{4}{2} = 2,00 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado del canal "P" vale:

$$0,42 + 2,22 + 2,22 = 4,86 \text{ mtrs.}$$

El radio hidráulico del canal "R" vale:

$$R = \frac{S}{P} = \frac{2,00}{4,86} = 0,417$$

Para calcular el valor de la gradiente que va a tener en este tramo de 120 mtrs. el canal, hay que considerar el denominado coeficiente de Biel y que para este caso de canal de conducción con revestimiento de molón sin enlucir, este coeficiente "f" tiene el valor de 0,20.

La gradiente del canal en este tramo, hechas las consideraciones anteriores viene calculada a base de la fórmula completa que dice:

$$h_w = \frac{L \cdot v^2}{1000 \cdot R} \left[0,12 + \frac{f}{\sqrt{R}} + \frac{0,0003}{(f + 0,02) \cdot v \cdot \sqrt{R}} \right]$$

En este fórmula tenemos que:

L = longitud en metros del tramo de canal que para sacar el valor de la gradiente en 1000 mtrs. se toma L = 1000 mtrs.

v = velocidad del agua en el tramo

R = radio hidráulico del canal

f = coeficiente de Biel

Reemplazando los valores conocidos en la fórmula tenemos que:

$$h_w = \frac{1000 \cdot 4}{1000 \cdot 0,417} \left[0,12 + \frac{0,20}{\sqrt{0,417}} + \frac{0,0003}{(0,2 + 0,02) \cdot 2} \right]$$

Para efectos del cálculo y siendo tan pequeño el valor del segundo sumando encerrado en el corchete, despreciamos y queda:

$$h_w = \frac{4}{0,417} (0,12 + \frac{0,20}{\sqrt{0,417}}) = 4,13 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

La gradiente para este tramo de canal es relativamente fuerte como puede apreciarse, pero dado el corto desarrollo de su longitud de apenas 120 mtrs., quiere decir que se pierden 0,50 mtrs. que no representa mucha altura perdida. Tanto la sección en corte del canal, así como sus dimensiones y características pueden apreciarse en el plano (5).

Tanque desarenador:

El tanque desarenador, plano (6), viene inmediatamente de terminados los 120 primeros metros de canal revestido.

Su función específica es limpiar las aguas de los materiales que han penetrado al canal y que han sido arrastrados: arena fina y gruesa; pequeñas piedras y tierra, y que no han sido eliminados completamente en la trampa de grava.

Es necesario y de carácter imprescindible en una obra de una central hidroeléctrica el colocar intercalado en el canal de conducción, un tanque desarenador, para evitar que los materiales sean arrastrados por el agua hacia los demás elementos de la obra, llegando finalmente a las máquinas, produciendo el consiguiente desgaste y deterioro de la maquinaria, especialmente de las que se encuentran en contacto directo con el agua, como son las toberas de los inyectores y las cucharas o paletas de las ruedas de las turbinas.

Para calcular las dimensiones y poder determinar las características del tanque desarenador para el presente Proyecto, hay que comenzar asignando una velocidad al agua, muy baja por supuesto, la menor posible que permita la sedimentación fácil de las materias de arrastre, en especial arena y tierra que es lo que más trae en sus aguas el Río Yanayacu y quizá.

una que otra piedra pequeña que ha podido pasara pesar de la trampa de grava.

Asignando al agua una velocidad baja de 0,15 mtrs/s., obtenida a base de una serie de rompientes y pantallas interiores colocadas a la entrada del tanque desarenador, cuya función es hacer que el agua pierda su velocidad que trae de 2,00 m/s. y penetre al tanque desarenador, si posible fuera casi sin velocidad, tenemos que calcular a base de esta velocidad de 0,15 m/s la sección del tanque desarenador, ya que se conoce el caudal $Q = 4$ metros cúbicos por segundo:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{4}{0,15} = 27 \text{ m}^2$$
, esta sección es la denominada sección de desagüe.

Para calcular la capacidad útil para el movimiento de las aguas en el tanque desarenador, hay que tomar en cuenta que la sedimentación o depósito de las materias que vienen arrastradas por el agua o en suspensión, no se efectúa instantáneamente, sino que toman su tiempo, que según lo experimentado puede ser aproximadamente de 0,05 m/s para el caso de que se trate de arenas y de tierra de la calidad de la que rrastra el Río Yanayacu.

Con la velocidad de 0,15 m/s. del agua, velocidad horizontal y con la experiencia realizada, tomando una botella con agua y con arena y tierra al fondo y dándole vuelta y cronometrando el tiempo que tarda en recorrer la longitud de la botella la arena de la calidad más o menos de la del Río, se puede fijar que recorre como ya se indicó 0,05 m/s, o sea que para llegar a depositarse en el fondo del tanque desarenador al cual le asignamos una profundidad suficiente de tres metros, se va a necesitar un tiempo igual a:

$$t = \frac{3,00}{0,05} = 1 \text{ minuto o } 60 \text{ segundos.}$$

Así pues, una partícula o un granito del material arrastrado por el agua, con una velocidad horizontal de 0,15 m/s. para llegar al fondo del desarenador va a necesitar recorrer una longitud de:

$$L = 0,15 \text{ m/s} \times 60 \text{ seg.} = 9,00 \text{ mtrs.}$$

Nota:

Aún cuando en el cálculo teórico que se realizó para determinar las dimensiones necesarias que debía tener el desarenador, se habían fijado éstas en: 14 mtrs. de largo, 9 mtrs. de ancho y 3 mtrs. de fondo; en la práctica el largo va a ser de 20 mtrs. y la profundidad de 5 mtrs. en razón de que la velocidad que se asignó al agua en el desarenador, es una velocidad supuesta de 0,15 m/s. y por normas de seguridad, es preferible tener una sección mayor a la calculada, especialmente a lo que al largo se refiere para asegurar así una operación de decantación en este tanque, lo mejor posible, ya que de la pureza de las aguas depende la duración de la maquinaria, especialmente los elementos que se encuentran en contacto directo y bajo la acción permanente de ella, como son toberas, agujas y cucharas de las turbinas.

un tiempo prudencial, al cabo del cual hay que realizar la limpieza por medio de compuertas de fondo que desaguan directamente hacia el Río.

De modo que con la capacidad útil para agua y con la capacidad para los materiales de sedimentación, ya se puede obtener la capacidad real que deberá tener el tanque desarenador:

$$C_t = C_u + C_s; \text{ reemplazando:}$$

$C_t = 240,00 + 138,24 = 378,24 \text{ m}^3$ lo que en números redondos vendría a dar una capacidad real total para el tanque desarenador de 380 m^3 .

Finalmente el tanque desarenador vendría a quedar con las siguientes dimensiones:

largo: 14 mtrs.

profundidad: 3 mtrs.

ancho: 9,00 mtrs.

En caso de que la profundidad de 3,00 mtrs. resulte un tanto incómoda el obtenerla en la ejecución misma del proyecto

por el volumen de tierra a excavarse, lo que debe hacerse como solución a este problema, es dividir la longitud de 14 mtrs. del tanque en dos secciones iguales de 1,5 mtrs. de profundidad cada una, de tal manera que resulte un trabajo como el que se ilustra en el plano (6) que representa una vista de corte del tanque desarenador.

Al fondo del tanque desarenador hay que darle una pendiente longitudinal media de por los menos 15.0/100, hacia el extremo de aguas abajo en donde están colocadas las compuertas de limpia; y con una pendiente transversal de 1:5.

Las compuertas de limpia de cada una de las secciones van colocadas en la parte más profunda de éstas, y en tal forma se hace su utilización que con un gasto mínimo de agua se pueda desalojar la mayor cantidad de los depósitos de sedimentación. Estas compuertas de limpia van a ser accionadas por un mecanismo tal que permita el subirlas aún cuando se encuentren cubiertas por los sedimentos, y este mecanismo puede consistir en el mismo ya descrito e ilustrado para las compuertas anteriores tanto para la de limpia del dique, como para la de limpia de la trampa de grava.

El agua vuelve a salir nuevamente al canal de conducción a través de un vertedero que se encuentra al final del tanque desarenador y que tiene que ser tal que permita el acceso de los 4 metros cúbicos por segundo que se necesitan en la instalación. En este vertedero hay que procurar que el agua no vaya a salir con una velocidad de más de 1,00 m/s. para asegurar aún más su limpieza y para fijar las dimensiones de este vertedero conocido el caudal Q y la velocidad " v " podemos calcular la sección necesaria en la siguiente forma:

$$S = \frac{Q}{v} ; \text{reemplazando valores se tiene:}$$

$$S = \frac{4}{1} = 4 \text{ m}^2; \text{ y si admitimos que el espesor}$$

o altura de la lámina vertiente va a ser 0,50 mtrs. tenemos que el vertedero va a tener a la salida del tanque desarenador una longitud de 8,00 mtrs.

El tanque desarenador va a ser construido de mampostería de piedra con mortero de cemento, teniendo cuidado de darle un acabado al fondo del tanque, sumamente liso para garantizar más aún la facilidad de arrastre de las materias de depósito hacia la parte más profunda para su desalojo por las compuertas de limpia hacia el canal de desagüe que desemboca directamente al Río.

Al efectuar el cálculo de la longitud necesaria para que una partícula a depositarse llegue al fondo del desarenador, había salido que esta longitud es la de 9,00 mtrs. y sin embargo se ha fijado la longitud del desarenador en 14,00 mtrs. por razón de que en este proceso de sedimentación intervienen algunos factores que retardan el depósito de los materiales, siendo uno de ellos la velocidad que existe por la turbulencia de las aguas, denominada "W" y cuyo cálculo se hace por la fórmula que dice:

$$W = \frac{V}{5,7 + 2,3 \cdot h}$$

en esta fórmula se tiene que:

V = velocidad horizontal que trae el agua en este caso = 0,15

h = profundidad del tanque desarenador = 3,00 mtrs. De modo que reemplazando los valores tenemos:

$$W = \frac{0,15}{5,7 + (2,3 \times 3)} = 0,012 \text{ m/s}$$

De tal manera que este valor de la velocidad de turbulencia de las aguas es relativamente pequeño, pero para garantizar aún más el proceso de sedimentación de los materiales, se ha aumentado a la longitud necesaria de 9,00 mtrs, 5,00 metros más teniendo en cuenta este factor de la velocidad de turbulencia.

En este Proyecto pues va a construirse un tanque desarenador de las siguientes características:

Largo: 14,00 mtrs; ancho: 9,00 mtrs.; profundidad: 3,00 mtrs.

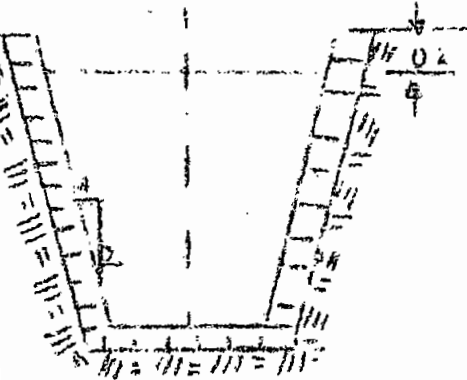
Si se cree necesario puede dividirse la longitud en dos secciones de 7,00 mtrs. cada una.

Construcción: mampostería de piedra con mortero de cemento.

Canal abierto revestido:

Después de estudiado el tanque desarenador, viene nuevamente el estudio de un tramo de canal abierto revestido, y tiene que ser revestido de molón de piedra por cuanto también sigue atravesando terrenos permeables y que no presentan mucha seguridad por lo delesnable de sus tierras.

Este tramo de canal abierto revestido desde el tanque desarenador hasta encontrarse con la obra de túnel, tiene unos 880 metros de desarrollo y respecto a la velocidad del agua, va a conservar la de 1,00 m/s. que es la que tiene al salir el agua del tanque desarenador. La velocidad del agua se reduce a 1,00 m/s. por cuanto el agua en este tramo de canal ya viene más limpia y no tiene que arrastrar ningún material de depósito, puesto que se supone que todo el material se ha sedimentado y así se ha eliminado del agua.



Para el cálculo de la sección en este tramo de canal se tiene los siguientes datos:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 1,00 \text{ m/s}$$

Luego la Sección S será igual a:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{4}{1} = 4,00 \text{ m}^2$$

En esquema la sección de este tramo de canal es como se ilustra, y sus detalles y características van especificados en el plano (7), adjunto a la descripción.

Hay que determinar la gradiente que va a tener este tramo de canal a base de la fórmula anteriormente aplicada para el tramo inicial. De modo que aplicando ya la fórmula, y considerando que el valor de "f", coeficiente de Biel es de 0,20 por tratarse de revestimiento de molón sin enlucir.

La fórmula reducida es:

$$h_w = \frac{1000 \cdot v^2}{1000 \cdot R} \left(0,12 + \frac{f}{\sqrt{R}} \right)$$

Para poder aplicar esta fórmula tenemos que obtener el valor de "R", radio hidráulico del canal.

Para obtener el valor del radio hidráulico "R" tenemos que:

$S = 4,00 \text{ m}^2$ y luego el valor del perímetro mojado de la sección del canal vale:

$$P = 1,42 + 2,2 + 2,2 = 5,82 \text{ mtrs.}$$

siendo 1,42 mtrs. el valor de la base del canal. Según esto R será igual a:

$$R = \frac{S}{P} = \frac{4}{5,82} = 0,69$$

Reemplazando estos valores ya obtenidos en la fórmula de la gradiente tenemos:

$$H_w = \frac{1000 \times 1}{1000 \times 0,69} \left(0,12 + \frac{0,20}{0,83} \right)$$

$$h_w = 1,45 \times 0,36 = 0,52 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

Luego la gradiente para este tramo de canal vale 0,52 $^\circ/\text{oo}$, lo que quiere decir que en los 880 mtrs. de desarrollo de canal se pierden 0,458 mtrs.

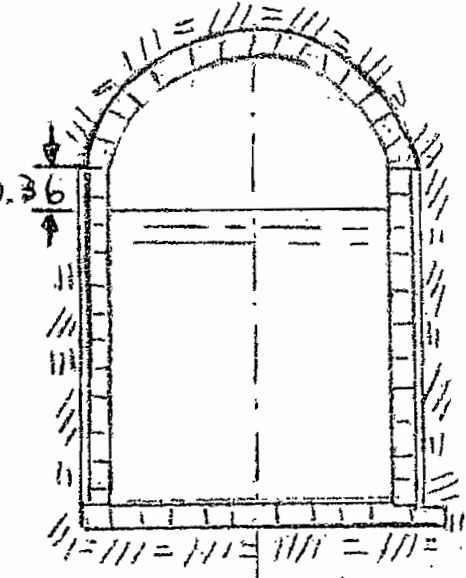
Es necesario proveer los llamados aliviaderos cada cierta distancia de desarrollo de canal, estos aliviaderos tienen como función el evitar que se deterioren las paredes del canal por posibles derrumbos a lo largo del mismo que vendrían a formar como represas dentro del canal con el consiguiente acumulamiento de agua que buscaría una salida y rompería la pared más débil del canal, y así tenemos que el agua se encuentra en el canal a 0,22 mtrs. del borde de la pared del canal y para obtener el valor de la longitud a la que se deben situar los aliviaderos, hay que hacer la siguiente consideración. Cada 880 mtrs., el canal baja 0,458 mtrs., luego para que baje sólo 0,22 mtrs. que es a la altura por debajo del borde del canal, a cuántos metros debe encontrarse el aliviadero:

$$X = \frac{880 \times 0,22}{0,458} = 423 \text{ mtrs.}$$

Luego estos vertederos que sirven de aliviaderos para caso de derrumbes y represamiento del agua en el canal, debe ir situados a 423 mtrs. uno de otro.

Túnel revestido:

Las formas de túnel o galería más comúnmente usadas, son las rectangulares con arco superior, de modo que, dadas las condiciones del terreno y la facilidad de ejecución, en el Proyecto Huapante, vamos a construir un tipo de túnel de forma rectangular con arco superior, tal



como se ilustra en el esquema y cuyos detalles, dimensiones y características, van especificados en el plano (8) adjunto a la descripción.

El túnel tiene que ir revestido de molón de piedra para garantizar la continuidad de servicio o sea para evitar derrumbos a lo largo de su desarrollo, de 7.700 m. El caudal a circular por el túnel es el de 4 metros cúbicos por se-

gundo y con una velocidad de 1,00 m/s. A base de estos dos datos podemos obtener la sección del túnel:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{4}{1} = 4,00 \text{ m}^2$$

Como es una sección rectangular, se puede descomponer fácilmente en:

1,60 mtrs. de base por 2,50 mtrs. de altura.

Perímetro mojado "P":

$$P = 2,5 + 2,5 + 1,6 = 6,60 \text{ Mtrs.}$$

Radio hidráulico "R":

$$R = \frac{S}{P} = \frac{4,00}{6,60} = 0,608$$

La longitud de este tramo del canal de conducción que tiene que ir por túnel, se ha fijado aproximadamente en 7.700 mtrs y viene el cálculo de la gradiente h_w por mil metros, a base de la fórmula aplicada en los casos anteriores de cálculo de gradiente:

$$h_w = \frac{1000 \times v}{1000 \times R} \left(0,12 + \frac{f}{\sqrt{R}} \right)$$

Reemplazando los valores conocidos en la fórmula, tenemos que la gradiente h_w valdrá:

$$h_w = \frac{1}{0,608} \left(0,12 + \frac{0,2}{0,775} \right) = 0,63 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

El valor del coeficiente "f" llamado de Biel se ha tomado con 0,2 por tratarse en este caso también de un canal revestido de molón de piedra y sin enlucir.

En los 7.700 mtrs. se llega a perder una altura igual a:

$$\frac{7.700 \times 0,63}{1000} = 4,85 \text{ mtrs.}$$

En el túnel o galería también hay que preveer y con mayor razón, los vertederos de alivio o aliviaderos cada cierto tramo de canal para evitar fallas como las indicadas para los otros tramos de canal. Estos aliviaderos van a ir localizados cada 560 mtrs. uno con otro, a base de que el agua llega a 0,36 mtrs. del borde revestido superior del túnel, como puede apreciar en el esquema correspondiente:

$$L = \frac{0,36 \times 1000}{0,63} = 560 \text{ mtrs.}$$

Canal abierto no revestido:

A continuación del desarrollo de 7.700 mtrs. de túnel y para finalizar el canal de conducción de las aguas en este Proyecto, viene un tramo de una longitud de 3.300 mtrs. de canal abierto no revestido.

No es necesario revestir este tramo de canal, y basta dar a las aguas una velocidad no muy fuerte, inferior a 1 m/s para que no haya erosión ni acarreo de tierra, por cuanto el terreno que atravieza este tramo de canal es más duro y de mejor formación geológica que los terrenos atravezados por los tramos anteriores de canal.

Para este tramo de canal abierto no revestido, tenemos los datos siguientes para cálculo de sección, perímetro mojado, radio hidráulico y gradiente:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$v = 0,75 \text{ m/s}$. Según esto la sección "S" valdrá:

$$S = \frac{Q}{v}$$

$$S = \frac{4,00}{0,75} = 5,33 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado "p" valdrá;

$$P = 2,00 + 2,10 + 2,10 = 6,20 \text{ mtrs.}$$

Teniendo en cuenta que el bajo valor asignado a la velocidad de 0,75 m/s impone una base del canal amplia de 2,00 mtrs.

$$R = \frac{S}{P} = \frac{5,33}{6,20} = 0,859$$

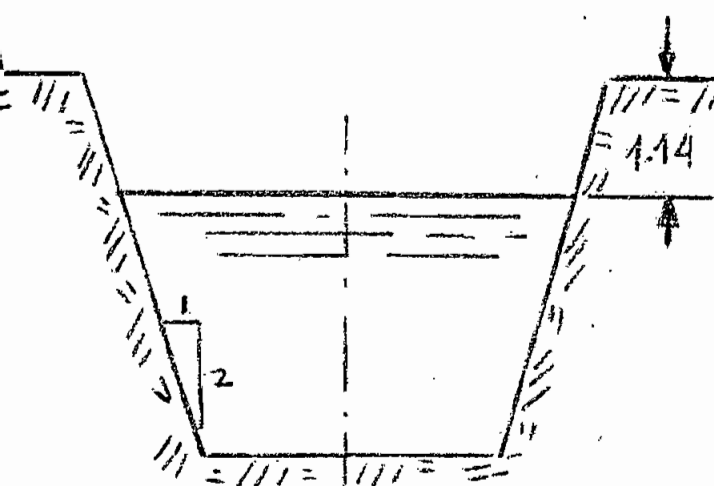
Para el cálculo de la gradiente tenemos la misma fórmula conocida y aplicada en los cálculos anteriores, con la diferencia que como el canal no es revestido, por no necesitarse, el coeficiente de Biel "f" vale en este caso 0,5; según esto

$$h_w = \frac{1000 \times 0,75^2}{1000 \times 0,859} \left(0,12 + \frac{0,5}{0,92} \right)$$

$$h_w = 0,655 \times 0,663 = 0,46 \text{ ‰}$$

Es una gradiente no muy fuerte que en el desarrollo de 3.300 m representa una pérdida de altura de:

$$\frac{3.000 \times 0,46}{1000} = 1,518 \text{ mtrs.}$$



Los aliviaderos que también hay que considerar en este tramo de canal van a ir situados a 2.500 mtrs. uno con otro, por cuanto se tiene que el agua llega a 1,14 m del borde superior del canal, como puede apreciarse en el esquema adjunto, y según esto se tiene que:

$$L = \frac{1,14 \times 1000}{0,46} \approx 2.500 \text{ mtrs.}$$

Con el estudio y cálculo de este tramo de canal, queda ya terminada la descripción del canal de conducción de aguas hacia los demás elementos que constituyen el Proyecto propiamente tal. Cabe anotar que con un levantamiento topográfico que se haga de una franja de unos 20 a 30 mtrs. de ancho por los te-

rrenos que posiblemente atravesará el canal de conducción, sea éste en canalá abierto revestido, túnel revestido o canal abierto no revestido, puede que las longitudes de los tramos varíen y entonces habrá que recalcular ciertas partes para dar valores reales y ajustados al levantamiento topográfico que se realice.

Determinación de cotas:

Con los datos y valores ya obtenidos de las diferentes gradientes para cada uno de los respectivos tramos del canal de conducción, de las diferentes velocidades a lo largo del desarrollo del mismo y de la clase y tipo de construcción a realizarse, se puede ya determinar con exactitud las cotas o alturas a las que se encuentran cada uno de los comienzos y finales de los diversos tramos de canal, refiriéndonos a un punto de cota 0,00mtrs. en el tanque de presión, cuya altura sobre el nivel del mar se ha determinado en las cartas del Servicio Geográfico Militar adjuntas en 2.930,00 mtrs.

De este modo las cotas de los puntos son respectivamente:

<u>Punto A:</u>	Tanque de presión	cota: 0,00m.	2.930,00 m.
<u>Punto B:</u>	a 3300 mtrs. de A	con $h_w = 0,46 \text{ } ^\circ/\text{oo}$	2.931,52 m.
<u>Punto C:</u>	a 7700 mtrs. de B	con $h_w = 0,63 \text{ } ^\circ/\text{oo}$	2.935,85 m.
<u>Punto D:</u>	a 880 mtrs. de C	con $h_w = 0,52 \text{ } ^\circ/\text{oo}$	2.936,31 m.
<u>Punto E:</u>	a 120 mtrs. de D	con $h_w = 4,13 \text{ } ^\circ/\text{oo}$	2.936,81 m

Los diferentes tramos de canal representados en un eje de coordenadas son como siguen, para su identificación:

<u>Punto A:</u>	Tanque de presión	abscisa: 0,00 mtrs.
<u>Puntos de A a B:</u>	canal abierto no revestido:	3.300 mtrs.
<u>Puntos de B a C:</u>	túnel revestido de molón	: 11.000 mtrs.
<u>Puntos de C a D:</u>	canal abierto revestido	: 11.880 mtrs.
<u>Puntos de D a E:</u>	canal abierto revestido	: 12.000 mtrs.

Tanque de presión:

El tanque de presión se encuentra ubicado al final del canal de conducción a la altura de la cota 2.930 mtrs. sobre el nivel del mar (altura del nivel del agua en el tanque). Sus dimensiones y características se las puede apreciar en el plano (11) y su construcción debe hacerse excavando el terreno y recubriéndolo con mampostería de piedra con mortero de cemento.


El tanque de presión debe ser diseñado y construido para una capacidad útil de 120 metros cúbicos, teniendo en cuenta que hay que preveer una reserva de 30 segundos. Efectivamente, siendo el caudal $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$, para estos 30 segundos de reserva se tiene:

$Q_u = 4 \text{ m}^3/\text{s} \times 30 \text{ s} = 120 \text{ m}^3$, y para que el tanque de presión tenga esta capacidad útil de 120 m^3 , hay que fijar sus medidas en: 3 metros de profundidad, por 5 metros de ancho y por 8 metros de largo.

El tanque de presión va a ser dividido en dos compartimentos, para asegurar la continuidad del servicio y para facilitar la limpieza y chequeo por separado de cada una de las dos tuberías que van a instalarse como se determinará más adelante en el desarrollo del trabajo, tuberías de presión que van a servir a los grupos generadores de la planta.

Los elementos que constituyen el tanque de presión van explicados en la siguiente forma:

Construcción: mampostería con mortero de cemento.- Fondo del tanque enlucido de cemento.

 Plancha de madera u hormigón que protege la entrada a las tuberías de presión

- C : Compuerta de acceso de las aguas del canal de conducción
- a : Vertedero lateral que sirve para desaguar excesos de caudal.
- R : Rejillas finas de platina de hierro (una por cada compartimento)
- C_d : Compuerta de desenganche libre de acceso de las aguas a la tubería de presión (una por cada tubería)
- T_a : tubo auxiliar de menor diámetro para llenar lentamente la

tubería mayor y que tiene que ser calculado en su diámetro a base de un caudal impuesto de 200 litros/s y con una velocidad igual a:

$v = \sqrt{2gh}$; siendo "h" la profundidad del tanque de presión o sea la de 3,00 mtrs. Luego se tiene una velocidad de:

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,00} = 7,7 \text{ m/s y si}$$

tenemos en cuenta un coeficiente de contracción y de fricción tenemos que esta velocidad se reduce a:

$v = 7,7 \times 0,8 = 6,16$ y a base de esta velocidad del agua se puede sacar la sección del tubo puesto que se necesita que pasen 200 ltrs/s.

$S = \frac{Q}{v}$; reemplazando los valores tenemos:

$$S = \frac{0,2}{6,16} = 0,032 \text{ m}^2 \text{ ó } 320 \text{ cms}^2$$

Y el diámetro correspondiente a esta sección será de:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} ; \text{ de donde "d" será:}$$

$$d = \sqrt{\frac{S \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{320 \times 4}{3,14}} = \sqrt{40,1} = 20 \text{ cm}$$

Luego este tubo auxiliar para llenar lentamente la tubería de presión va a tener un diámetro de 20 cms., y tiene una llave de paso que comanda el cierre o la abertura al paso del agua.

T ; tuberías de presión, cuyo cálculo se realizará más adelante.

El cálculo del vertedero lateral "a" viene a base de:

$Q = \frac{2}{3} \times \mu \times b \times h \sqrt{2gh}$; fórmula para cálculo de vertederos en la cual los signos corresponden a:

Q = caudal máximo a desaguarse: 4 mtrs. cúbicos por segundo

h = altura de la lámina vertiente fijada en 0,40 mtrs.

b = ancho que deberá tener el vertedero, es la incógnita.

$\frac{2}{3}\mu$ = constante de cálculo = 0,42

Reemplazando los valores conocidos en la expresión de la fórmula se tiene:

$$4 = 0,42 \times b \times 0,40 \times 19,62 \times 0,40 ;$$

De donde el valor de "b" ancho del vertedero será:

$$b = \frac{4}{0,62} = 6,5 \text{ mtrs.}$$

Así pues, las dimensiones para este vertedero lateral que sirve para desaguar los excesos de agua o sea que es un vertedero de control para el tanque de presión son:

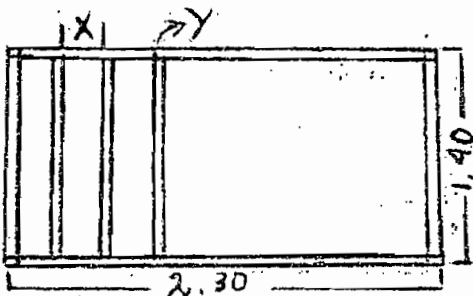
b = 6,5 mtrs. de largo

h = 0,4 mtrs. de lámina vertiente

Los excesos de agua se pueden llamar tales cuando se cierra una tubería por ejemplo, entonces el sobrante de agua se desagua por este vertedero lateral a un canal de conducción que vierte sus aguas nuevamente al Río.

La colocación de rejillas finas "R" antes de la entrada de las aguas a la tubería de presión, es indispensable para proteger aún más la instalación de las turbinas, puesto que estas rejillas finas son los últimos elementos que garantizan la limpieza de basuras del agua.

Es necesario calcular las pérdidas que por fricción se producen al paso del agua por estas rejillas finas "R", en cada una de las dos rejillas. El cálculo viene en esta forma:



$$h_w = \frac{v_r^2 - v_0^2}{2g}$$

La rejilla va a tener como dimensiones: 2,3 mtrs. de largo por 1,40 mtrs. de alto, como se ilustra en el dibujo adjunto y sus barros van a ser de hierro platina de media pulgada por una

y media pulgada.

Viene el cálculo del % ocupado por los barros y su relación con la superficie total, para poder determinar la velocidad del agua al paso por los barros de la rejilla.

Las dimensiones que se conocen para poder calcular las pérdidas que se producen al paso del agua por la rejilla fina son:

X = 12,5 mm es el ancho de la platina de hierro de $1/2" \times 1\frac{1}{2}"$

Y = 20 mm es la separación entre platina y platina

A base de esto podemos sacar el % que se encuentra ocupado por las platinas de la sección total de la rejilla:

$$\% = \frac{X}{X + Y} = \frac{12,5}{20 + 12,5} = \frac{12,5}{32,5} = 40\% \text{ por}$$

aproximación.

Este 40% respecto a la superficie total de 100% de $3,22 \text{ m}^2$ representaría el valor de $1,29 \text{ m}^2$, o sea que el valor de la sección S' a base de la cual hay que calcular la velocidad de paso del agua por las platinas será:

$$S = a \times b = 2,30 \times 1,40 = 3,22 \text{ m}^2$$

S' = $3,22 - 1,29 = 1,93 \text{ m}^2$; de esta manera se tiene que la velocidad del agua al paso por la rejilla V_r valdrá

$$V_r = \frac{Q}{S'} ; \text{ el caudal } Q \text{ en este caso es el de}$$

2 metros cúbicos por segundo, puesto que el caudal total de 4 metros cúbicos por segundo se divide por igual para las dos tuberías de presión, servidas respectivamente por los dos compartimentos del tanque de presión.

$$V_r = \frac{2,00}{1,93} = 1,03 \text{ m/s}$$

Y si asumimos que el agua trae una velocidad V_0 de 0,3 m/s tendremos finalmente que las pérdidas en cada una de las rejillas valdrá:

$$h_w = \frac{1,03^2 - 0,3^2}{19,62} = \frac{0,97}{19,62} = 0,048 \text{ mtrs.}$$

De tal manera que por el paso del agua que produce fricción en las rejillas se pierde en cada una de ellas 0,048 mtrs, lo que quiere decir que en las dos se perderá 0,096 mtrs., que

en números redondos representan 10 cms. los que se pierden en las rejillas finas.

Sobre el tanque de presión es necesario colocar una plancha de hormigón o madera en tablones, hasta cubrir una superficie de 2,00 x 2,30 mtrs. en cada uno de los dos compartimentos del tanque de presión. Esta plancha a más de proteger a las aguas de las suciedades que pueden penetrar, sirve también de protección personal para los trabajadores que sirvan en esta sección de la instalación.

Cálculo de los muros laterales del tanque de presión:

Para el diseño de los muros del tanque de presión se han realizado los siguientes cálculos de los esfuerzos que soportan, tanto considerados con el tanque vacío o sea sólo los esfuerzos producidos por el empuje de las tierras, o con el tanque lleno de agua. El diagrama correspondiente a representación de los esfuerzos está signado como (13). Hay que considerar que el tanque de presión va excavado en el suelo a una profundidad de 3,00 mtrs. de tal manera que el nivel superior de las aguas en el tanque quede a la altura de la cota 2.930 mtrs. sobre el nivel del mar.

Cálculo de fuerzas:

1er. caso: Tanque vacío de agua: el cálculo se realiza para un metro de muro.

G_t = peso total de la obra de mampostería de piedra (1 mtr)

$$G_t = \delta \left[1 (b + 0,40) \frac{3}{2} \right]$$

δ = 2.200 Kg/m³ (densidad de la mampostería de piedra)

Para el cálculo a más de la fuerza que representa el peso G_t , hay que considerar las siguientes fuerzas:

F_2 = fuerza debida al empuje de las tierras en el lado de fuera del tanque

N = fuerza de deslizamiento del muro debido al empuje de la fuerza F_2 , cuando el tanque está vacío.

Hay que tomar en cuenta el coeficiente fricción "f" para este caso igual a 0,597 y que corresponde a un ángulo de 30°bajo

el cual se supone está actuando la fuerza de empuje de las tierras F_2 , ángulo que viene de acuerdo a la calidad del terreno y que en este caso es tova volcánica mezclada con grava entre gruesa y delgada.

La fuerza F_2 se la determina a base de:

$$F_2 = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 \operatorname{tag}^2 \left(45^\circ - \frac{1}{2} \phi \right)$$

siendo ϕ el ángulo de 30° ;

$$\gamma = 1800 \text{ Kg/cm}^2$$

$H = 3$ mtrs., profundidad del tanque. Reemplazando los valores tenemos:

$$F_2 = \frac{1}{2} \times 1800 \times 9 \operatorname{tag}^2 30^\circ$$

$$F_2 = 8100 \operatorname{tag}^2 30^\circ = 2.754 \text{ Kgs.}$$

Ponemos la igualdad que dice:

$N = G \times f$; y resolvemos "G" en función de "b" siendo "b" la dimensión de la base del muro que hay que llegar a determinar.

$G =$ peso del muro de mampostería:

$$G = 3300 \times b + 1320 \text{ y como:}$$

$$N = G \times f, \text{ luego } G = \frac{N}{f}$$

Ahora bien, para que el muro se mantenga en equilibrio, es necesario que la fuerza F_2 de empuje de las tierras, sea menor o igual en el peor de los casos a N; y si asumimos que la fuerza F_2 es igual a N, podemos reemplazar para sacar el valor de "G"

$$G = \frac{F_2}{f} = \frac{2754}{0,597} = 4.600 \text{ Kgs.}$$

ya que en el peor de los casos F_2 va a ser igual a N

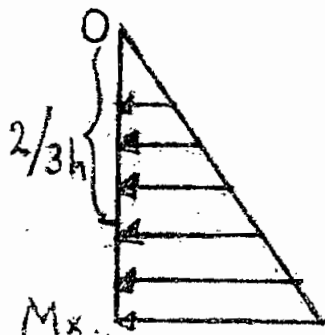
De este valor de "G" ya podemos sacar el valor para "b" y que será de:

$$b = \frac{4600 - 1320}{3300} = 1,00 \text{ por aproximación}$$

2do. caso:

cuando el tanque está lleno de agua:

Con el tanque lleno de agua se tiene que viene a actuar una nueva fuerza debida al empuje de las aguas, fuerza que la denominamos F_1 , cuyo valor se determina así:



$$F_1 = \frac{3000 \times 3 \times 1}{2}$$

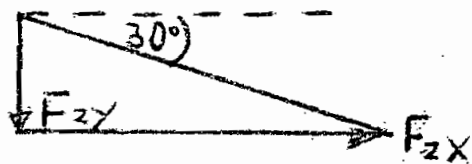
Se divide para dos por cuanto el valor de la fuerza como se puede apreciar en el diagrama adjunto, se reparte en forma de un triángulo, ya que a la altura mayor corresponde un empuje mayor, siendo cero el empuje en el nivel libre del agua,

y la superficie de un triángulo vale base por altura sobre dos y esta fuerza se halla actuando a los dos tercios del nivel libre del agua.

Y si consideramos que la fuerza F_2 del empuje de las tierras por la parte de fuera del tanque puede descomponerse en dos fuerzas como se ilustra en el diagrama:

F_{2x} fuerza horizontal

F_{2y} fuerza vertical, podemos calcular estas componentes de F_2 en la forma siguiente:



$$F_{2x} = F_2 \times \cos. 30^\circ = 2.754 \times 0,868 = 2.380 \text{ Kgs.}$$

$$F_{2y} = F_2 \times \text{sen. } 30^\circ = 2.754 \times 0,500 = 1.377 \text{ Kgs,}$$

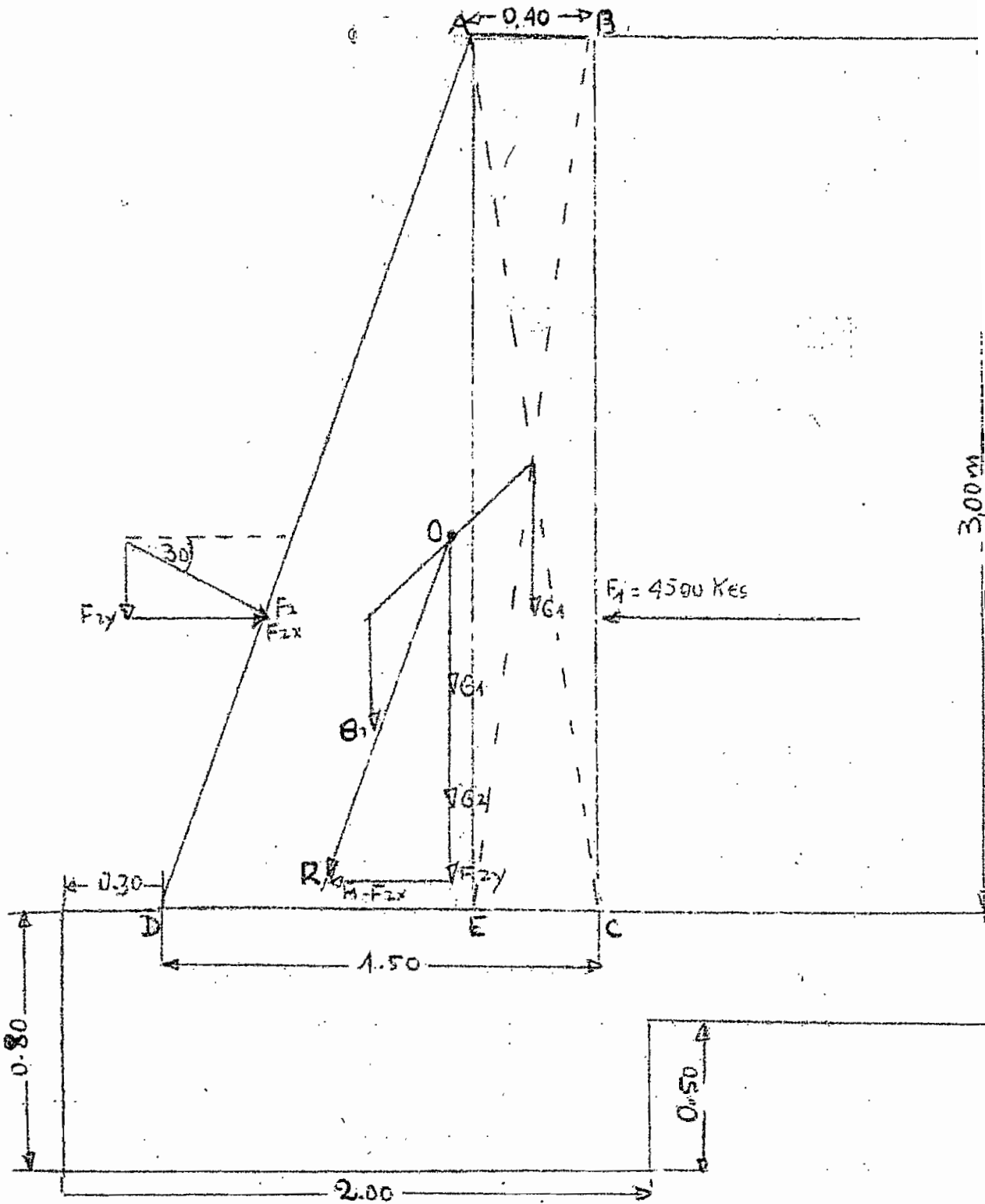
Se considera además que esta fuerza de empuje de las tierras está actuando a un tercio de la altura de 3,00 mtrs. desde abajo y con un ángulo ya determinado de 30° respecto a la horizontal del nivel libre del agua.

Además la fuerza G_t del peso del muro puede descomponerse a su vez en dos fuerzas verticales que actúan en el sentido de la gravedad y que son G_1 y G_2 , siendo la primera fuerza la correspondiente al peso del rectángulo ABCE, como se ilustra en el dibujo (13) y la acción de esta fuerza pasa por el centro de gravedad del rectángulo y que es como consecuencia a 0,20 mtrs. y G_2 el peso del triángulo ADE que va a pasar por

Dibujo (13)

DIMENSIONES Y DIAGRAMAS DE FUERZAS
MUROS LATERALES DEL TANQUE DE PRESION

Escala 1: 200; 1 cm. = 1000 Kgs.



el tercio de la base.

Respectivamente las fuerzas G_1 y G_2 valen:

$$G_1 = 0,40 \times 3,00 \times 1,00 \times 2.200 = 2.640 \text{ Kgs.}$$

$$G_2 = \text{será la diferencia del peso } G_t - G_1$$

$$G_2 = 4.600 - 2.640 = 1.960 \text{ Kgs.}$$

Para sacar el valor de "b" que es lo que buscamos o sea la dimensión de la base mayor del trapecio ABCD asumiendo por normas de construcción como 0,40 mtrs. la dimensión de la base menor o coronación del muro o sea A-B, nos referimos al diagrama a escala de las fuerzas, teniendo en cuenta que la resultante de todos los esfuerzos debe pasar dentro del tercio medio de la base.

De modo que del diagrama de fuerzas a escala, sacamos por aproximación que el valor de "b" es el de 1,50, para que la resultante pase dentro del tercio medio que es la condición de equilibrio.

La base del muro va a tener 1,50 mtrs. y para su cimentación podemos aisladamente asignar 2,00 mtrs x 0,80 mtrs. o sea que el muro lateral del tanque de presión va a ser de las siguientes dimensiones:

- altura: 3,00 mtrs. libre de cimientos
- base menor (coronación): 0,40 mtrs.
- base mayor (calculada) : 1,50 mtrs.
- base de cimentación: 2,00 mtrs
- altura de labase de cimentación: 0,80 mtrs.
- construcción: mampostería de piedra con mortero de cemento.

Queda en esta forma determinado el tanque de presión que es si se puede considerar la última de las partes de la obra hidráulica de este Proyecto, quedando tan sólo a determinarse las dimensiones y características del tanque que va a servir como reservorio para regulación diurna, y que no se lo puede determinar en este capítulo de obra hidráulica por cuanto hay que determinar potencias y consumos primeramente.

Tubería de presión:

La tubería de presión (plano 14) tiene una longitud real de 850 metros obtenidos a base del desarrollo de la misma en el perfil de la caída, y estos 850 van desde la salida en el tanque de presión a la altura de cota 2,930,00 mtrs. sobre el nivel del mar, el nivel del agua en dicho tanque, hasta el último tramo antes de entrar a la llamada tubería de distribución. En el plano (14) se puede apreciar el trazo que deberá tener esta tubería de presión, así como sus ángulos de deflexión, puntos de apoyo y puntos de anclaje.

La tubería de presión para el proyecto "Huapante" es del tipo descubierto y sus 850 mtrs. van a estar subdivididos en tramos diferentes con sus respectivas longitudes debidos al perfil del terreno y que son como a continuación se detallan:

<u>Tramos</u>	<u>Longitudes</u>
1 a 2	7 mtrs.
2 a 3	112 mtrs.
3 a 4	158 mtrs.
4 a 5	185 mtrs. (dos sub-tramos: 92
5 a 6	86 mtrs.
6 a 7	91 mtrs.
7 a 8	116 mtrs.
8 a 9	95 mtrs.

Dando una longitud total de: 850 mtrs.

Cabe anotar que el tramo comprendido del 4 al 5 está subdividido en dos sub-tramos de 92,5 mtrs. de longitud cada uno, cuanto 185 mtrs. es una distancia demasiado grande para que constituya por sí misma un tramo separado, tanto por la dificultad de la colocación de los puntos de apoyo, como por cuanto habría que realizar obras de juntas de expansión en las longitudes intermedias cada cierto número de metros.

El número de anclajes para la tubería de presión es de ocho contando el anclaje final del último codo vertical antes de entrar a la tubería de distribución.

El número de codos con los valores correspondientes de sus ángulos de cambio de dirección y ángulos con la horizontal, así como su ubicación en sistema de coordenadas es de siete, y según el siguiente detalle:

ángulo alfa: α ángulo de cambio de dirección
 ángulo beta: β ángulo con la horizontal

Vamos a representar en un cuadro la ubicación y características de los codos de la tubería de presión:

Codo No.	ángulo α	ángulo β	ordenadas	abscisas
1	25°	25°	2530 mtrs.	150 mtrs.
2	16°	40°	2575 mtrs.	250 mtrs.
3	14°	26°	2675 mtrs.	375 mtrs.
(4)	no hay codo	26°	2718 mtrs.	450 mtrs.
4	14°	10°	2760 mtrs.	540 mtrs.
5	20°	34°	2775 mtrs.	625 mtrs.
6	10°	45°	2825 mtrs.	700 mtrs.
7	30°	16°	2900 mtrs.	775 mtrs.
Tanque de presión	17°	0°	2930 mtrs.	868 mtrs.

Una vez establecidos estos valores de longitud, número de codos y los valores de los ángulos, estamos en posibilidad de hacer el cálculo de la tubería de presión propiamente tal.

Para poder realizar el cálculo correspondiente al diámetro de la tubería, es necesario llegar a conocer y determinar primeramente las pérdidas de carga que por fricción y por cambio de dirección en los codos, se producen a lo largo de los 850 m. de desarrollo.

Cálculo para una sola tubería de presión:

A base del caudal total disponible de 4 metros cúbicos por segundo e imponiéndonos una velocidad del agua en la tubería igual a 3,4 m/s, vamos a proceder a calcular las pérdidas de carga o pérdidas de altura debidas a los codos.

Cálculo de pérdidas h_w por codos:

Tenemos una fórmula que nos permite calcular las pérdidas que se producen por los codos, debido a cambio de dirección del agua y fricción al entrar en el ángulo de cambio de dirección, fórmula que es:

$$h_w = K' \times V^2 / 2g$$

en esta fórmula:

h_w = pérdidas de carga

K' = factor de multiplicación dado en tab.

V^2 = velocidad del agua en la tubería

$2g$ = 19,62 m/s.

ángulo α	K'	h_w
25°	0,45	0,262
16°	0,301	0,176
14°	0,30	0,170
14°	0,30	0,170
20°	0,38	0,224
10°	0,20	0,117
30°	0,53	0,310

Total de pérdidas: $h_{wt} = 1,429$ mtrs.

De tal manera que por los codos se tiene una pérdida de carga de 1,429 mtrs.

Por normas de cálculo se puede admitir que por fricción en la tubería de presión se puede llegar a perder de 2% a 3% del valor de la altura de la caída bruta, lo cual querría decir que para nuestro caso de 400 mtrs. de caída bruta, tendríamos una pérdida de carga, tomando un 2,15% para estar dentro de un valor aceptable igual a:

$$h_w = 400 \times 0,0215 = 8,6 \text{ mtrs.}$$

Este valor de 8,6 mtrs. lo sumamos con el obtenido de 1,429 m. y tenemos el total de las pérdidas de carga:

$$h_{wt} = 8,6 \text{ mtrs} + 1,429 \text{ mtrs} = 10,00 \text{ mtrs. en números redondos.}$$

A base de este valor de las pérdidas de carga en la tubería se puede llegar a conocer el verdadero diámetro o diámetro real de la tubería de presión, reemplazando los valores conocidos en la fórmula que dice:

$$h_w = \frac{L \times v^2 \times \lambda}{2g \times D}$$

En esta fórmula cada expresión significa:

h_w = pérdidas de carga = 10,00 mtrs.

L = Longitud real y total de la tubería de presión = 850 mtrs

v^2 = Velocidad del agua en la tubería = 3,4 mtrs.

= constante de cálculo = 0,0240

Para poder encontrar el valor del diámetro "D" en esta fórmula tenemos que hacer todavía algunos cálculos y consideraciones previas.

$$v = \frac{Q}{S} ; \text{ y además sabemos que la sección}$$

vale:

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Reemplazamos el valor de S en la fórmula de la velocidad y tenemos:

$$v^2 = \frac{Q^2 \times 16}{\pi^2 \times D^4}$$

reemplazamos este valor de la velocidad al cuadrado en la fórmula de h_w y tenemos que:

$$h_w = \frac{L \times \lambda \times 16 \times Q^2}{\pi^2 \times D^4 \times 2g \times D}$$

reemplazando por los valores conocidos esta expresión quedará:

$$h_w = \frac{850 \times 0,024 \times 16 \times 16}{3,14 \times 3,14 \times 19,62 \times D^5}$$

$$10,00 = \frac{850 \times 0,024 \times 16 \times 16}{3,14 \times 3,14 \times 19,62 \times D^5}$$

De esta última expresión ya podemos despejar el valor del Diámetro:

$$D^5 = \frac{0,024 \times 850 \times 16 \times 16}{3,14 \times 3,14 \times 19,62 \times 10}$$

$$D^5 = 2,6 \text{ mtrs.}^5$$

Y para sacar el valor del diámetro tenemos:

$$D = \frac{1}{5} \log. 2,6 = \frac{1}{5} \times 0,4150 = 0,083$$

El valor del número correspondiente a 0,083 según las tablas es 1,21 mtrs. Luego el diámetro de la una sola tubería de presión va a ser de 1,21 mtrs.

Como vía de comprobación podemos reemplazar este diámetro en la fórmula de la velocidad y tenemos:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 \times 4}{3,14 \times 1,21 \times 1,21} = 3,4 \text{ m/s.}$$

Por las condiciones de funcionamiento y características de la instalación creo que lo más conveniente y técnico es adoptar por instalar dos tuberías de presión gemelas, que alimienten por separado a grupos generadores, sean estos dos, tres o cuatro, según se determinará a su tiempo por medio del cálculo respectivo.

Para estas dos tuberías de presión el diámetro va a ser más reducido y su cálculo viene a base del mismo valor de las pérdidas de carga de 10,00 mtrs.

Cálculo para dos tuberías de presión:

Para el cálculo de estas dos tuberías de presión gemelas, hay que partir de que el caudal se divide en dos o sea que es de dos metros cúbicos por segundo y que además el valor de la velocidad del agua en la tubería se asume que es solamente de 3,00 mtrs. por segundo.

Según estos puntos de vista se vuelve a realizar el cálculo de las pérdidas en la tubería a base de que perdemos en caída el 2,2% de la caída bruta por fricción y que para una velocidad de 3,00 m/s. las pérdidas por codos que se va a calcular valen 1,128 mtrs.

Cálculo de h_w en los codos:

$$h_w = K' \times V^2 / 2g$$

$$V = 3,00 \text{ m/s.}$$

ángulo	K'	h_w
25°	0,45	0,205
16°	0,30	0,138
14°	0,30	0,138
14°	0,30	0,138
20°	0,38	0,174
10°	0,20	0,092
30°	0,53	0,243

Pérdidas totales: $h_{wt} = 1,128 \text{ mtrs.}$

De modo que por los codos se pierden 1,128 mtrs. y para estar dentro del total de las pérdidas de carga que hemos admitido de 10,00 mtrs. tenemos que por fricción se pierde el 2,2% de la caída bruta de 400 mtrs. o sea que

$$h_w = \frac{400 \times 2,2}{100} = 8,8 \text{ mtrs.}$$

Pérdidas totales de carga:

$h_{wt} = 8,8 \text{ mtrs} + 1,128 \text{ mtrs.} = 10,00 \text{ mtrs.}$ en números redondos.

Una vez establecidas las pérdidas totales de carga a lo largo de los 850 mtrs. de tubería, volvemos a aplicar el mismo cálculo que para la tubería anterior:

$$h_w = \frac{0,024 \times L \times V^2}{2g \times D}$$

pero se tiene que:

$$V = \frac{Q}{S}; \text{ y el valor de } S \text{ es:}$$

$$S = \frac{3,14 \times D^2}{4}$$

y el valor de V^2 será:

$$V^2 = \frac{Q^2 \times 16}{3,14 \times D^4}$$

Reemplazando el valor de la velocidad en función de la sección en la fórmula de h_w pérdidas de carga, para poder obtener el valor del diámetro real de la tubería:

$$h_w = \frac{0,024 \times 850 \times 16 \times 4}{9,86 \times D^5 \times 19,62}$$

y como $h_w = 10,00$ mtrs., despejamos el valor del Diámetro:

$$D^5 = \frac{0,024 \times 850 \times 16 \times 4}{9,86 \times 19,62 \times 10} = \frac{1305,6}{1934,5} = 0,68$$

y el valor de D resolviendo la raíz quinta por logaritmos será:

$$D = \frac{1}{5} \log. 0,68 ; \text{ lo que finalmente da un valor de } 0,92 \text{ mtrs. para el diámetro de la tubería.}$$

Queda en esta forma establecido que la instalación va a realizarse para dos tuberías de presión gemelas y de un diámetro de 92 cms. cada una, con una velocidad de 3,00 m/s del agua y con una pérdida de carga de 10,00 mtrs. para cada tubería.

Cálculo de los espesores:

Una vez determinada la longitud real de la tubería de presión, así como su diámetro interno, hay que proceder a calcular los espesores que va a tener esta tubería en cada uno de los tramos correspondientes en los que se halla dividida. Partimos de la fórmula que dice:

$$e = \frac{P \times D}{2\sigma \times 0,9} + 0,1 \text{ cms. En esta fórmula las}$$

expresiones corresponden a:

e = espesor de la tubería en centímetros

P = presión estática más 10% por ser que va seguramente a realizarse la instalación con turbinas Pelton, como se demostrará con el cálculo correspondiente en el capítulo de maquinaria y este valor de "P" será de: $40 \text{ kgs/cm}^2 + 4 \text{ kgs/cm}^2 = 44 \text{ kgs/cm}^2$

D = diámetro interno de la tubería = 92 cms.

σ = 850 kgs/cm² es el coeficiente de trabajo del material

0,9 = coeficiente que se pone por normas de seguridad debido a las soldaduras que hay que realizar en la tubería

+ 0,1 = se aumenta un centímetro por oxidaciones de la tubería.

A base de esta fórmula vamos a proceder al cálculo de los espesores de cada uno de los tramos de la tubería, teniendo en cuenta que el espesor del último tramo va a ser mayor que el del primer tramo o los tramos intermedios, puesto que con la altura varía también la presión.

1er. tramo: L = 7 mtrs.

$$e = \frac{44 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 2,72 \text{ cms.}$$

2do. tramo: L = 112 mtrs.

$$e = \frac{44 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 2,72 \text{ cms.}$$

3er. tramo: L = 158 mtrs.

$$e = \frac{39,05 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 2,45 \text{ cms.}$$

4to. tramo: L = 185 mtrs. dividido en dos sub-tramos de 92,5 m

$$e = \frac{28,05 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 1,78 \text{ cms.}$$

5to. tramo: L = 86 mtrs.

$$e = \frac{18,92 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 1,25 \text{ cms.}$$

6to. tramo: L = 91 mtrs.

$$e = \frac{17,05 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 1,15 \text{ cms.}$$

7to. tramo: L = 116 mtrs.

$$e = \frac{11,55 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 0,79 \text{ cms.}$$

8vo. tramo: L = 95 mtrs.

$$e = \frac{3,30 \times 92}{2 \times 850 \times 0,9} + 0,1 = 0,27 \text{ cms.}$$

Nota: Si es verdad que el espesor para el material de la tubería para el octavo tramo, es lo ha calculado en 2,7 milímetros, cabe anotar que en vista de que existe un espesor mínimo prescrito para esta clase de instalaciones de 5 milímetros, adoptamos para este último tramo de tubería este espesor prescrito, como el mínimo en lugar del espesor calculado.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0245 \times 7500 = 528 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 528 \times 158 = 84000 \text{ kgs.}$

4to.tramo: $L = 185 \text{ mtrs.}$ Dividido en dos sub-tramos de 92,5

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0178 \times 7500 = 387 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 387 \times 185 = 72000 \text{ kgs.}$

peso del sub-tramo $G = 387 \times 92,5 = 36000 \text{ kgs.}$

5to.tramo: $L = 86 \text{ mtrs.}$

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0125 \times 7500 = 270 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 270 \times 86 = 23000 \text{ kgs.}$

6to.tramo: $L = 91 \text{ mtrs.}$

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0115 \times 7500 = 250 \text{ kg.}$

peso del tramo: $G = 250 \times 91 = 22650 \text{ kgs.}$

7to.tramo: $L = 116 \text{ mtrs.}$

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0079 \times 7500 = 171 \text{ kgs}$

peso del tramo $G = 171 \times 116 = 19900 \text{ kgs.}$

A base de estos espesores determinados para cada tramo de la tubería, viene ahora el cálculo de los pesos de cada tramo, teniendo en cuenta su longitud correspondiente.

Cálculo de pesos:

Para el cálculo de los pesos de cada tramo, se tiene la fórmula:

$$G = D \times \pi \times e \times \gamma \quad (\text{peso de un metro de tubo})$$

$$G = D \times \pi \times e \times \gamma \times L \quad (\text{peso del tramo})$$

1er. tramo: L = 7 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0272 \times 7500 = 590 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 590 \times 7 = 4130 \text{ kgs.}$

2do. tramo: L = 112 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0272 \times 7500 = 590 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 590 \times 112 = 65400 \text{ kgs.}$

3er. tramo: L = 158 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0245 \times 7500 = 528 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 528 \times 158 = 84000 \text{ kgs.}$

4to. tramo: L = 185 mtrs. Dividido en dos sub-tramos de 92,5 m.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0178 \times 7500 = 387 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 387 \times 185 = 72000 \text{ kgs.}$

peso del sub-tramo $G = 387 \times 92,5 = 36000 \text{ kgs.}$

5to. tramo: L = 86 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0125 \times 7500 = 270 \text{ kg.}$

peso del tramo $G = 270 \times 86 = 23000 \text{ kgs.}$

6to. tramo: L = 91 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0115 \times 7500 = 250 \text{ kg.}$

peso del tramo: $G = 250 \times 91 = 22650 \text{ kgs.}$

7to. tramo: L = 116 mtrs.

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0079 \times 7500 = 171 \text{ kgs}$

peso del tramo $G = 171 \times 116 = 19900 \text{ kgs.}$

Nota:

8vo. tramo: L = 95 mtrs.- Cálculo del peso de la tubería con el espesor mínimo prescrito de 5 milímetros en lugar de 2,7 milímetros.

peso de 1 mtr. G = $0,92 \times 3,14 \times 0,005 \times 7,5 = 107$ Kgs.

peso del tramo G = $107 \times 95 = 10.165$ Kgs.

q

función consiste en nivelar las presiones: atmosférica y la que existe en el interior de la tubería de presión, para evitar el consiguiente aplastamiento de la tubería en caso de un cierre brusco por ejemplo de la válvula de entrada del agua a la tubería, por la diferencia de presión existente en el interior de la tubería y la presión atmosférica. La presión en el interior de la tubería es menor debido al vacío que se produce por la circulación del agua con una velocidad tal, en este caso 3,00 m/s. y si se cierra la válvula de entrada del agua al principio de la tubería en el tanque de presión, este vacío dentro de la tubería es vencido por la presión atmosférica produciéndose el aplastamiento de la misma, como ha sucedido en algunas ocasiones.

La chimenea de ventilación consiste físicamente en un tubo de menor diámetro que la tubería y que se lo coloca anterior a la primera junta de expansión. Su altura debe estar sobre el nivel libre del agua en el tanque de presión.

8vo. tramo: L = 95 mtrs

peso de 1 mtrs. $G = 0,92 \times 3,14 \times 0,0027 \times 7500 = 58 \text{ kgs.}$

peso del tramo $G = 58 \times 95 = 5500 \text{ kgs.}$

La tubería de presión la suministran los fabricantes en tubos de hasta 10 mtrs. de largo, facilitándose así el manejo para la colocación de los tubos sobre sus puntos de apoyo y de anclaje.

Chimenea de ventilación:

Antes de pasar adelante al cálculo de los anclajes de la tubería de presión, hay que mencionar un elemento necesario e imprescindible en toda tubería de presión, especialmente en los de gran desarrollo como es la del caso presente, este elemento en cuestión es el denominado chimenea de ventilación, que se lo puede apreciar en el plano (11).

La chimenea de ventilación se la coloca al principio de la tubería de presión, inmediatamente del tanque de presión, y su función consiste en nivelar las presiones: atmosférica y la que existe en el interior de la tubería de presión, para evitar el consiguiente aplastamiento de la tubería en caso de un cierre brusco por ejemplo de la válvula de entrada del agua a la tubería, por la diferencia de presión existente en el interior de la tubería y la presión atmosférica. La presión en el interior de la tubería es menor debido al vacío que se produce por la circulación del agua con una velocidad tal, en este caso 3,00 m/s. y si se cierra la válvula de entrada del agua al principio de la tubería en el tanque de presión, este vacío dentro de la tubería es vencido por la presión atmosférica produciéndose el aplastamiento de la misma, como ha sucedido en algunas ocasiones.

La chimenea de ventilación consiste físicamente en un tubo de menor diámetro que la tubería y que se lo coloca anterior a la primera junta de expansión. Su altura debe estar sobre el nivel libre del agua en el tanque de presión.

Otro punto que hay que hacer mención es aquel que para evitar en parte al menos la contracción de la vena líquida en la entrada de la tubería de presión, hay que dar a la embocadura, una forma abocinada, teniendo en cuenta que la velocidad del agua a la entrada de la tubería, no debe pasar de una velocidad que oscile entre 1,00 m/s a 1,5 m/s para evitar así que puedan producirse remolinos.

Con la forma abocinada del tubo en la embocadura, se consigue aumentar en por lo menos un 90% el coeficiente de contracción, de manera que la sección "S" de la embocadura viene dada por un valor de la fórmula que dice:

$Q = c. S. \sqrt{2gh}$; fórmula en la que las expresiones corresponden a:

Q = caudal a penetrar en la tubería de presión: $2 \text{ m}^3/\text{s}$
c = coeficiente de contracción para embocadura de forma abocinada = 0,6

h = altura que viene calculada a base de:

Para evitar los remolinos a la entrada de la tubería de presión, hay que situar el borde superior de la misma, lo más bajo posible respecto al nivel libre del agua en el tanque de presión y esta altura "h", se toma generalmente como igual a 10 veces "H", siendo este valor de "H" igual a:

$$H = \frac{v^2}{2g} ; \text{ y se estableció que la velocidad "V"}$$

debe ser igual o menor de 1,5 m/s hasta 1,00 m/s, de modo que si asumimos que el agua tiene una velocidad de entrada en la embocadura de la tubería de presión de 1,5 m/s, podemos despejar el valor de "H":

$$H = \frac{1,5 \times 1,5}{19,62} = 0,114; \text{ por lo tanto "h" debe ser}$$

igual a:

$$h = 10 \times H = 0,114 \times 10 = 1,14 \text{ mtrs.}$$

con este valor de "h" reemplazamos en la fórmula anterior y tenemos que la sección "S" de la embocadura de la tubería de presión debe ser igual a:

$$S = \frac{Q}{c \cdot \sqrt{2gh}} = \frac{2,00}{0,6 \times \sqrt{19,62 \times 1,14}}$$

$$S = \frac{2,00}{2,80} = 0,715 \text{ m}^2; \text{ este valor de la sección de la}$$

embocadura de la tubería, tiene un diámetro correspondiente de:

$$S = \frac{3,14 \times D^2}{4}$$

$$0,715 = \frac{3,14 \times D^2}{4}; \text{ despejando el valor de "D":}$$

$$D = \sqrt{\frac{0,715 \times 4}{3,14}} = \sqrt{0,908} = 0,95 \text{ mtrs.}$$

Esto quiere decir que la tubería en la embocadura, a la salida del tanque de presión va a tener un diámetro 3 cms. mayor el el diámetro del resto de la tubería que es de 0,92 mtrs.

Terminados de tratar los puntos relativos a diámetros, espesores, pesos, y otros elementos de la tubería de presión se puede pasar adelante con el cálculo de los anclajes para este tubería, y para que se facilite este cálculo voy a poner en forma de cuadro las características de cada uno de los tramos de la tubería:

Tramo No.	Longitud	ángulo α	ángulo β	gradiente
1	7 m	25°	25°	48%
2	112 m	16	40	83%
3	158 m	14	26	48%
4	92,5 m	--	26	48%
5	92,5 m	14	10	17%
6	86 m	20	34	67%
7	91 m	10	45	100%
8	116 m	30	16	28%
9	95 m	17	0	0%

Las gradientes de los tramos son dadas por los ángulos de tubería con la horizontal o sea el llamado ángulo beta (β) y el valor de la gradiente es el correspondiente a la tangente de dicho ángulo, y estas gradientes vienen dadas en por cientos.

Para poder calcular debidamente los esfuerzos que soportan cada uno de los anclajes de la tubería de presión, hay que calcular primeramente las dilataciones que sufren cada uno de los diferentes tramos de la tubería, teniendo en cuenta que para poder calcular dilataciones para una tubería que va a ir instalada en una zona que sufre cambios de temperatura, estos cambios u oscilaciones de la temperatura se pueden tomar de 0°C. a 40°C, que es la oscilación que se admite en general para la temperatura en la Sierra Ecuatoriana.

Cálculo de dilataciones:

Para calcular las dilataciones de la tubería debido al cambio de temperatura, se tiene la fórmula que dice:

$$\Delta = \lambda \cdot T_m \times L = \text{dilatación en metros}$$

siendo los valores respectivamente:

$$\Delta = \text{dilatación en mtrs.}$$

$$\lambda = 0,000012$$

$$T_m = 40^\circ\text{C.}$$

$$L = \text{Longitud en metros del tramo de tubería.}$$

Este cálculo de la dilatación viene a ser propiamente para las llamadas juntas de expansión, que son elementos de una tubería de presión que permiten moverse a la tubería, vale decir, son los que permiten que la tubería cuando se dilata por el calor, este aumento de longitud se hace posible gracias a la junta de expansión, y del mismo modo al enfriarse la tubería se encoje, regresando a su longitud normal.

1er.tramo: $L = 7 \text{ m}$

$$\Delta_1 = 0,000012 \times 40 \times 7 = 0,0033 \text{ mtrs.}$$

2do.tramo: $L = 112 \text{ m}$

$$\Delta_2 = 0,000012 \times 40 \times 112 = 0,053 \text{ mtrs.}$$

3er.tramo: $L = 158 \text{ m.}$

$$\Delta_3 = 0,000012 \times 40 \times 158 = 0,076 \text{ mtrs.}$$

4to. tramo: L = 92,5 mtrs.

$$\Delta_4 = 0,000012 \times 40 \times 92,5 = 0,044 \text{ mtrs}$$

5to. tramo: L = 92,5 mtrs.

$$\Delta_5 = 0,000012 \times 40 \times 92,5 = 0,044 \text{ mtrs.}$$

6to. tramo: L = 86 mtrs.

$$\Delta_6 = 0,000012 \times 40 \times 86 = 0,042 \text{ mtrs.}$$

7to. tramo: L = 91 mtrs,

$$\Delta_7 = 0,000012 \times 40 \times 91 = 0,043 \text{ mtrs.}$$

8vo. tramo L = 116 mtrs

$$\Delta_8 = 0,000012 \times 40 \times 116 = 0,054 \text{ mtrs.}$$

9no. tramo: L = 95 mtrs

$$\Delta_9 = 0,000012 \times 40 \times 95 = 0,045 \text{ mtrs.}$$

Estos valores de las dilataciones que sufren cada uno de los diferentes tramos de la tubería de presión, están dando de hecho las longitudes que deberán darse a cada una de las respectivas juntas de dilatación que hay que ubicarlas al final de cada tramo en la parte superior, y que serán las que permitan extenderse o encojarse a la tubería, sin causar ningún daño en los anclajes y en los puntos de apoyo.

Cálculo de esfuerzos sobre los anclajes:

Una vez determinados los pesos, espesores, longitudes de las juntas de dilatación, ángulos de cambio de dirección, etc. de cada uno de los tramos en que se encuentra dividida la tubería de presión, estamos en posibilidad de calcular los esfuerzos que se ejercen sobre los bloques en los cuales va a ir anclada la tubería de presión.

Para poder proceder al cálculo de estos esfuerzos, hay que determinar cuáles son los que corresponden a la parte superior por arriba del anclaje, y cuáles los correspondientes a la parte inferior de tubería por debajo del anclaje.

Como el procedimiento de cálculo y las bases para el mismo, son idénticas para determinar los esfuerzos en los diferentes puntos fijos o puntos de anclaje, vamos a explicar cada uno de estos esfuerzos y el porqué se producen.

Tenemos en primer término que el peso del tubo en el tramo correspondiente, al cual denominamos G_t , está ejerciendo un esfuerzo sobre el bloque de anclaje, el mismo que se determinará en el desarrollo de este cálculo; este peso de la tubería se obtiene de la fórmula que dice:

$G_t = \pi \times D_m \times e \times L \times \gamma$; en esta fórmula tenemos que:

G_t = peso de la tubería en el tramo correspondiente

D_m = diámetro medio del tubo y cuyo valor es de 0,947 mtrs. ya que el diámetro interior del tubo vale 0,92

e = espesor del tubo en el tramo correspondiente

L = longitud en metros del tramo correspondiente

γ = 7,5 que es el valor del peso específico del hierro para esta clase de construcciones de tuberías de presión.

Luego tenemos que el agua también tiene su peso en el tramo de tubería, dentro del tubo y este peso del agua se determina a base de la fórmula que dice:

$$G_a = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L ; \text{ en esta fórmula tenemos}$$

que:

G_a = peso del agua dentro de la tubería del tramo correspondiente.

D = diámetro interior de la tubería = 0,92 mtrs.

L = longitud en metros del tramo correspondiente.

Una vez determinados los pesos correspondientes a la tubería misma y al agua contenida en su interior, vienen los esfuerzos que son: en la parte de ARRIBA:

P_1 = presión que ejerce el agua debida a la altura a la que se encuentra el punto de anclaje con respecto al nivel libre de las aguas con un aumento de 10% de sobrepresión prevista para el golpe de ariete, en instalaciones a realizarse con turbinas Pelton que es nuestro caso, esta presión varía en cada uno de los puntos fijos o de anclaje, siendo máxima en el anclaje I y mínima en el anclaje VIII. El esfuerzo se obtiene a base de la fórmula que dice:

$$P_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H_1 \quad ; \text{ siendo en esta fórmula}$$

P_1 = esfuerzo debido a la presión del agua, variable para cada uno de los puntos de anclaje de acuerdo con la altura

D = diámetro interior de la tubería, constante para todos los tramos e igual a 0,92 mtrs.

H_1 = altura a la que se encuentra el punto de anclaje, más un 10% .

P_2 = presión en la junta de expansión, debida a la altura a la que se encuentra dicha junta de expansión más el 10% de aumento correspondiente y el valor del esfuerzo P_2 se obtiene de la fórmula que dice:

$$P_2 = \pi \times D_m \times e \times H'_2; \text{ siendo cada una de las expresiones:}$$

P_2 = esfuerzo en la junta de expansión, variable para cada una de las juntas de expansión de cada uno de los tramos, de acuerdo con la altura.

D_m = diámetro medio de la tubería que es constante y que vale 0,947 mtrs.

H'_2 = altura a la que se encuentra la junta de expansión más el 10% de aumento, variable para cada uno de los tramos y cuyo valor se lo puede apreciar para cada caso en el plano No.16 del perfil de la tubería de presión.

P_3 = esfuerzo debido a la fricción que se produce en la junta de expansión como resultado del alargamiento de la tubería por el calor y el encojimiento de la misma debido al enframamiento, este valor del esfuerzo P_3 se obtiene a base de la fórmula que dice:

$$P_3 = \pi \times D \times l \times \mu \times H; \text{ siendo los valores:}$$

P_3 = esfuerzo en la junta de expansión, variable para cada uno de los tramos de acuerdo a la altura.

D = diámetro interior de la tubería, constante para todos los tramos e igual a 0,92 mtrs.

l = longitud de la junta de expansión, calculada a base de la dilatación de la tubería y variable para cada uno de los tramos, su valor se da en metros.

μ = coeficiente de fricción entre prensa estopa (cáñamo/) y acero de la tubería.

H = altura a la que se encuentra la junta de expansión, pero sin considerar el aumento del 10% de sobrepresión, variable para cada una de las juntas de expansión de los tramos correspondientes.

P_4 = esfuerzo debido al peso de la tubería, cuyo valor se obtiene de la fórmula que dice:

$$P_4 = G_t \times \text{sen. } \alpha; \text{ siendo en esta fórmula:}$$

P_4 = esfuerzo debido al peso de la tubería, variable de acuerdo a cada una de las longitudes y espesor de la tubería en los tramos correspondientes.

G_t = peso del tubo, variable de acuerdo a la longitud y espesor del mismo en cada tramo.

$\text{sen } \alpha$ = ángulo con la horizontal (valor del seno del ángulo) variable para cada uno de los ángulos en cada tramo de tubería.

P_5 = esfuerzo debido al peso de la tubería y al peso del agua conjuntamente. Es un esfuerzo de fricción sobre el bloque de anclaje, fricción entre la tubería y el bloque y originado por la dilatación o el encojimiento del tubo de acuerdo a la variación de la temperatura, su valor se obtiene de la fórmula que dice:

$P_5 = (G_t + G_a) \times 0,5 \times \cos.\alpha$; siendo respectivamente:

P_5 = esfuerzo de fricción debido al rozamiento entre la tubería de hierro y el anclaje de hormigón de la misma, variable de acuerdo con el peso del tubo y del agua para cada tramo correspondiente.

0,5 = coeficiente de fricción entre hierro y hormigón

$\cos.\alpha$ = valor del coseno del ángulo *con la horizontal*, variable para cada tramo de tubería.

P_6 = esfuerzo de fricción del agua dentro de la tubería, su valor se obtiene de la fórmula que dice:

$$P_6 = S \times h_w; \text{ siendo correspondientemente:}$$

P_6 = esfuerzo debido a la fricción del agua dentro de la tubería, variable de acuerdo con la longitud del tramo de tubería que se considere.

S = sección de la tubería, obtenida a base del valor del diámetro del tubo 0,92, con la fórmula de la sección que dice:

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} ; \text{ este valor es constante para}$$

todos los tramos de tubería que se considere.

h_w = pérdidas por fricción en la tubería, variable de acuerdo a la longitud de tubo que se considere y cuyo valor se obtiene de la fórmula que dice:

$$h_w = 0,024 \times \frac{L \times V^2}{D \times 2g} ; \text{ en esta fórmula aplica-}$$

da anteriormente para cálculos análogos de pérdidas por fricción se tiene que:

H_w = pérdidas por fricción en metros

0,024 = λ constante de cálculo

L = longitud de la tubería en metros en el tramo correspondiente.

D = diámetro del tubo = 0,92 mtrs. constante para toda la tubería.

V = velocidad del agua en la tubería = 3,00 m/s, constante para toda la tubería.

2g = valor de la gravedad = 19,62 constante para el cálculo.

Estos han sido en detalle los esfuerzos que hay que considerar que ejercen su acción sobre el bloque de anclaje de la tubería por la parte de ARRIBA de dicho anclaje. Por la parte de ABAJO también existen estos mismos esfuerzos pero calculados a base de los valores correspondientes de longitud del tubo, altura a la que se encuentra el punto fijo etc., aplicando en todo caso el mismo procedimiento para el cálculo de los esfuerzos por la parte de ARRIBA del anclaje, como se podrá apreciar en los cálculos a realizarse a continuación, de cada uno de los ocho anclajes o puntos fijos que se ha previsto para esta tubería de presión.

Anclaje I:

ARRIBA:

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,027 \times 112 \times 7,5 = 67 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 112 = 75 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 44 = 292 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,027 \times 39,38 = 31,5 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,053 \times 0,3 \times 35,8 = 16,4 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 67 \times 0,4226 = 28,2 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (67 + 75) \times 0,5 \times 0,9063 = 64,5 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,33 = 0,80 \text{ Ton.}$$

ABAJO

En el caso de este anclaje I, no hay esfuerzos que considerar desde el lado de abajo, por cuanto el último tramo de tubería de 7 mtrs. de longitud va totalmente encementado, o sea que es una tubería rígida la que existe por la parte inferior de este anclaje I, antes de entrar en la tubería de distribución.

Una vez calculados los esfuerzos por separado, hay que realizar el cómputo de los mismos, teniendo en cuenta las dos condiciones bajo las cuales se mueve la tubería de presión: calentamiento e enfriamiento, y según se considere por separado cada uno de estos dos estados, los signos correspondientes con los cuales van a ir los esfuerzos en el cómputo, van a ser más y menos (+ y -), como se apreciará más adelante.

Anclaje II:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0245 \times 158 \times 7,5 = 87 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 158 = 105 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 0,665 \times 39,38 = 260 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0245 \times 26,95 = 19,6 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,076 \times 0,3 \times 24,5 = 16,2 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 86 \times 0,64279 = 55 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (87 + 105) \times 0,5 \times 0,76604 = 73,5 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,88 = 1,25 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0245 \times 10 \times 7,5 = 5,4 \text{ Ton}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 39,38 = 260 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0245 \times 39,38 = 28,4 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,053 \times 0,3 \times 35,8 = 16,4 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 5,4 \times 0,42262 = 2,8 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (5,4 + 6,65) \times 0,5 \times 0,90631 = 5,5 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 0,12 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Este valor de P_6 es constante para todos los tramos ya que la longitud de tubería que se considera para calcular las pérdidas h_w por fricción en la tubería es constante y vale 10 mtrs. que es a la distancia a la cual se ha colocado en todos los tramos la junta de expansión con respecto al anclaje inmediato superior y aún para los efectos de cálculo se podría desprestigiar este valor de 0,08 Ton. pero en el caso presente, vamos a considerarlo.

Anclaje III:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 92,5 \times 7,5 = 37 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 92,5 = 61,5 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 28,05 = 185 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 23,54 = 12,5 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0440 \times 0,3 \times 21,4 = 8,2 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 37 \times 0,43837 = 16,2 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (37 + 61,5) \times 0,5 \times 0,89879 = 44 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,1 = 0,74 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 10 \times 7,5 = 4 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 28,05 = 185 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 28,05 = 14,4 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,053 \times 0,3 \times 25,5 = 1,18 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 4 \times 0,6427 = 2,56 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (4 + 6,65) \times 0,5 \times 0,76604 = 4,1 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Anclaje IV:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 92,5 \times 0,0178 \times 7,5 = 36,6 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 92,5 = 61,5 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 19,03 = 10,03 \text{ Ton}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0440 \times 0,3 \times 17,3 = 6,7 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 36,6 \times 0,43837 = 16 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (36 + 61,8) \times 0,5 \times 0,89879 = 44,2 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,1 = 0,74 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 10 \times 7,5 = 4 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,5 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 23,37 = 12,3 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0440 \times 0,3 \times 21,85 = 8,1 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 4 \times 0,43837 = 1,75 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (4 + 6,65) \times 0,5 \times 0,89879 = 4,74 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Anclaje V:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0125 \times 86 \times 7,5 = 24 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 86 = 57 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 18,7 = 125 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0125 \times 17,38 = 6,8 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0420 \times 0,3 \times 15,8 = 5,8 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 24 \times 0,17365 = 4,2 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (24 + 57) \times 0,5 \times 0,98481 = 39,6 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,015 = 0,668 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0125 \times 10 \times 7,5 = 2,8 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 18,7 = 125 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0125 \times 18,52 = 6,9 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0440 \times 0,3 \times 17,80 = 6,44 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 2,8 \times 0,43837 = 1,2 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (2,8 + 6,65) \times 0,5 \times 0,89879 = 4,23 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Anclaje VI:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0115 \times 91 \times 7,5 = 21,30 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,668 \times 91 = 60,5 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 11,44 = 76,4 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0115 \times 12,2 = 4,2 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0430 \times 0,3 \times 11,10 = 4,13 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 21,30 \times 0,59919 = 12,8 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (21,30 + 60,5) \times 0,5 \times 0,82904 = 34 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,08 = 0,72 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0115 \times 10 \times 7,5 = 2,6 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 11,44 = 76,4 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0115 \times 17,38 = 6,00 \text{ Ton}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0430 \times 0,3 \times 15,8 = 5,90 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 2,6 \times 0,17365 = 0,45 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (2,6 + 6,65) \times 0,5 \times 0,98481 = 4,7 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton}$$

Anclaje VII:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0079 \times 116 \times 7,5 = 20,5 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 116 = 77,2 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 3,3 = 22 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0079 \times 4,4 = 1,03 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0540 \times 0,3 \times 4 = 1,8 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 20,5 \times 0,7071 = 14,5 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (20,5 + 77,2) \times 0,5 \times 0,7071 = 34,5 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,38 = 0,92 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,0079 \times 10 \times 7,5 = 1,78 \text{ Ton.}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton.}$$

$$P_1 = 6,65 \times 3,3 = 22 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0079 \times 17,38 = 4,1 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0540 \times 0,3 \times 15,8 = 0,71 \text{ Ton.}$$

$$P_4 = 1,78 \times 0,59919 = 1,06 \text{ Ton.}$$

$$P_5 = (1,78 + 6,65) \times 0,5 \times 0,82904 = 3,5 \text{ Ton.}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Anclaje VIII:

ARRIBA

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,005 \times 95 \times 7,5 = 7,13 \text{ Ton}$$

$$G_a = 0,665 \times 95 = 63,38$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,005 \times 0,4 = 0,59 \text{ Ton}$$

$$P_1 = 0,65 \times 1 = 6,65 \text{ Ton}$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0450 \times 0,3 \times 0,4 = 0,16 \text{ Ton}$$

$$P_4 = 7,13 \times 0,27564 = 2,29 \text{ Ton}$$

$$P_5 = (7,13 + 63,38) \times 0,5 \times 0,96126 = 60 \text{ Ton}$$

$$P_6 = 0,665 \times 1,1 = 0,74 \text{ Ton.}$$

ABAJO

$$G_t = 3,14 \times 0,947 \times 0,005 \times 10 \times 7,5 = 1,2 \text{ Ton}$$

$$G_a = 0,665 \times 10 = 6,65 \text{ Ton}$$

$$P_1 = 6,65 \times 1 = 6,65 \text{ Ton}$$

$$P_2 = 3,14 \times 0,947 \times 0,005 \times 4,4 = 0,685$$

$$P_3 = 3,14 \times 0,920 \times 0,0450 \times 0,3 \times 4 = 0,1507 \text{ Ton}$$

$$P_4 = 1,20 \times 0,7071 = 0,842 \text{ Ton}$$

$$P_5 = (1,20 + 6,65) \times 0,5 \times 0,7071 = 4,81 \text{ Ton}$$

$$P_6 = 0,08 \text{ Ton.}$$

Una vez determinados los esfuerzos en cada uno de los anclajes de los tramos correspondientes de tubería, viene el cómputo de dichos esfuerzos, tomando en cuenta el calentamiento y

el enfriamiento de dicha tubería, de acuerdo a los cambios de temperatura que oscilan como ya se determinó entre los 0°C, hasta los 40°C., y esta variación de temperatura da como resultado el alargamiento o el encojimiento de la tubería.

COMPUTO DE ESFUERZOS EN LOS ANCLAJES:

Para el cómputo de los esfuerzos en los bloques de anclaje, tenemos que considerar por separado los dos estados de calentamiento y de enfriamiento tanto en la parte de arriba del anclaje, como en la parte de abajo del anclaje, de tal manera que estos esfuerzos van a ir con su propio signo para cada caso, y así tenemos que:

ARRIBA:

Calentamiento: + P₁ + P₂ + P₃ + P₄ + P₅ + P₆

Enfriamiento: + P₁ + P₂ - P₃ + P₄ - P₅ + P₆

ABAJO:

Calentamiento: - P₁ - P₂ - P₃ + P₄ - P₅ + P₆

Enfriamiento: - P₁ - P₂ + P₃ + P₄ + P₅ + P₆

Anclaje I: ARRIBA

Calentamiento: + 292 + 31,5 + 16,4 + 28,2 + 64,5 + 0,08 = + 433,4 T

Enfriamiento: + 292 + 31,5 - 16,4 + 28,2 - 64,5 + 0,08 = + 271,6 T

ABAJO

Calentamiento: 0 (cero)

enfriamiento: 0 (cero)

Anclaje II: ARRIBA

Calentamiento: + 260 + 19,6 + 16,2 + 55 + 73,5 + 1,25 = + 425,55T

Enfriamiento: + 260 + 19,6 - 16,2 + 55 - 73,5 + 1,25 = + 246,15T

ABAJO

Calentamiento: - 260 - 28,4 - 16,4 + 2,8 - 5,5 + 0,08 = - 307,42T

Enfriamiento: -260 - 28,4 + 16,4 + 2,8 + 5,5 + 0,08 = - 263,62T

Anclaje III: ARRIBA

Calentamiento: + 185 + 12,5 + 8,2 + 16,2 + 44 + 0,74 = +266,64

Enfriamiento: + 185 + 12,5 - 8,2 + 16,2 - 44 + 0,74 = +162,24

ABAJO

Calentamiento: - 185 - 14,4 - 11,8 + 2,56 - 4,1 + 0,08 = -212,60

Enfriamiento: - 185 - 14,4 + 11,8 + 2,56 + 4,1 + 0,08 = -180,80

Anclaje IV: ARRIBA

Calentamiento: + 0 + 10,03 + 6,7 + 16 + 44,2 + 0,74 = + 77,67 T

Enfriamiento: + 0 + 10,03 - 6,7 + 16 - 44,2 + 0,74 = - 24,13 T

ABAJO

Calentamiento: - 0 - 12,3 - 8,1 + 1,75 - 4,74 + 0,08 = - 23,31 T

Enfriamiento: - 0 - 12,3 + 8,1 + 1,75 + 4,74 + 0,08 = + 2,37 T

Anclaje V: ARRIBA

Calentamiento: + 125 + 6,8 + 5,8 + 4,2 + 39,6 + 0,668 = + 182,06

Enfriamiento: + 125 + 6,8 - 5,8 + 4,2 - 39,6 + 0,668 = + 91,26

ABAJO

Calentamiento: - 125 - 6,9 - 6,44 + 1,2 - 4,23 + 0,08 = - 141,29

Enfriamiento: - 125 - 6,9 + 6,66 + 1,2 + 4,23 + 0,08 = - 119,95

Anclaje VI: ARRIBA

Calentamiento: + 76,4 + 4,2 + 4,13 + 12,8 + 34 + 0,72 = + 132,25

Enfriamiento: + 76,4 + 4,2 - 4,13 + 12,8 - 34 + 0,72 = + 55,99

ABAJO

Calentamiento: - 76,4 - 6 - 5,9 + 0,45 - 4,7 + 0,08 = - 92,47 T

Enfriamiento: - 76,4 - 6 + 5,9 + 0,45 + 4,7 + 0,08 = - 71,27 T

Anclaje VII ARRIBA

Calentamiento: + 22 + 1,03 + 1,8 + 14,5 + 34,5 + 0,92 = + 74, 75

Enfriamiento: + 22 + 1,03 - 1,8 + 14,5 - 34,5 + 0,92 = + 2,15 T

ABAJO

Calentamiento: $- 22 - 4,1 - 0,71 + 1,06 - 3,5 + 0,08 = - 29,17 \text{ T}$

Enfriamiento: $- 22 - 4,1 + 0,71 + 1,06 + 3,5 + 0,08 = - 20,75 \text{ T}$

Anclaje VIII: ARRIBA

Calentamiento: $+ 6,65 + 0,59 + 0,16 + 2,29 + 60 + 0,74 = + 70,43 \text{ T}$

Enfriamiento: $+ 6,65 + 0,59 - 0,16 + 2,29 - 60 + 0,74 = - 49,49 \text{ T}$

ABAJO

Calentamiento: $- 6,65 - 0,685 - 0,1507 + 0,842 - 4,81 + 0,08 = -11,37$

Enfriamiento: $- 6,65 - 0,685 + 0,1507 + 0,842 + 4,81 + 0,08 = - 1,44$

A base de estos esfuerzos calculados, viene el cálculo y diseño del bloque de anclaje para la tubería, y este cálculo y diseño del bloque se lo realiza para el valor más desfavorable, osea para el mayor valor, positivo o negativo en cada caso, del cómputo de esfuerzos en cada uno de los tramos de la tubería de presión.

En el plano No. 17 van representados a escala y gráficamente estos esfuerzos calculados y que soportan cada uno de los bloques de anclaje, primeramente en la composición de esfuerzos negativos y positivos y luego en el plano No. 18 se representan a escala gráficamente la composición de la resultante de los esfuerzos negativos y positivos, con el peso del bloque de anclaje.

Esta composición de la resultante de los esfuerzos en los bloques de anclaje y el peso de los mismos, da una nueva resultante, y es condición para que se mantenga el equilibrio del bloque de anclaje, que esta resultante total pase por el tercio medio de la base del bloque de anclaje.

Hay que admitir que el terreno en el cual van a ir colocados los bloques de anclaje, tiene una tolerancia de $2,4 \text{ Kg/cm}^2$ que es el valor usado para esta clase de terrenos compuestos de conglomerado, tierra arcillosa y tova volcánica.

Para poder realizar con mayor facilidad los gráficos de los esfuerzos en el bloque de anclaje, vamos a hacer un cuadro de resumen en el que van los valores obtenidos del cómputo de esfuerzos.

ANCLAJE	ARRIBA		ABAJO	
	Calentamiento	Enfriamiento	Calentamiento	Enfriamiento
I	+ 433,4	+ 271,6	cero	cero
II	+ 425,55	+ 246,15	-307,42	- 263,6
III	+ 266,64	+ 162,24	-212,660	- 180,8
IV	+ 77,67	- 24,13	- 23,31	+ 2,3
V	+ 182,068	+ 91,268	+ 141,29	- 119,9
VI	+ 132,25	+ 55,99	- 92,47	- 71,25
VII	+ 74,75	+ 2,15	- 29,17	- 20,75
VIII	+ 70,43	- 49,99	- 11,37	- 1,44

Los esfuerzos que se consideran como más desfavorables y para los cuales hay que diseñar los bloques de anclaje, son como se puede apreciar, tanto para arriba del anclaje como para la parte de abajo del mismo, los que se producen por el calentamiento de la tubería, o sea los producidos por la dilatación de la tubería por el calor, al aumentar los grados de temperatura del ambiente.

Diseño de los bloques de anclaje:

Para diseñar los bloques de anclaje de la tubería de presión, partimos asignando valores en metros a las dos dimensiones del bloque de anclaje: " a " que es el ancho y " b " que es el largo de la base, y además de acuerdo con la resultante obtenida del cómputo de fuerzas la más desfavorable desde luego, suponemos un peso tal de toneladas para dicho bloque de anclaje, un peso que guarde estrecha relación con las dimensiones del ancho y del largo de la base del bloque de anclaje.

Una vez impuestos estos datos de ancho, base y peso del bloque de anclaje, y si admitimos que el peso específico para el hormigón y la mampostería de que van a ser hechos los bloques de anclaje es de 2,4 Ton/m³, estamos ya en posibilidad de calcular la altura del bloque de anclaje "h" para lo cual se parte de la fórmula que dice:

$P = a \times b \times h \times \gamma$; fórmula en la cual se tiene:

P = peso del bloque de anclaje; a = ancho ; b = largo de base

h = altura del bloque de anclaje en metros;

γ = peso específico del hormigón y de la mampostería $2,4 \text{ T/m}^3$

Reemplazando los valores conocidos en la fórmula tenemos que podemos obtener el valor de "h" y estamos ya en posibilidad de hacer un primer diagrama de fuerzas, entre la fuerza resultante del cómputo de los esfuerzos en los anclajes, y la fuerza que representa el peso del anclaje, teniendo en cuenta que la resultante de la composición de estas dos fuerzas, que va a ser la resultante total tiene que estar actuando bajo un ángulo tal respecto a la horizontal, de acuerdo desde luego al ángulo que tiene la fuerza del cómputo de esfuerzos y de acuerdo con el peso del bloque que se ejerce en el sentido de la gravedad.

La composición de estas fuerzas, da como ya se indicó, una resultante total cuyo valor será de X toneladas para cada caso y es condición indispensable para que se mantenga el equilibrio del bloque de anclaje, que la resultante total pase por el tercio medio de la base.

En el supuesto caso que no se llene la condición necesaria para el equilibrio del bloque de anclaje, entonces hay que volver a asignar una base mayor al bloque, que da como consecuencia un aumento de peso y por lo tanto va a variar también la altura. Hay que volver a realizar un nuevo cálculo con un incremento de las medidas del bloque, y así hay que ir probando sucesivamente hasta llegar a conseguir las dimensiones que den un peso tal del bloque que al componerse con la resultante del cómputo de los esfuerzos, dé una resultante total que pase por el tercio medio de la base del bloque.

El peso del bloque, que representa una fuerza perpendicular a la base del mismo dada en toneladas, tiene como punto de aplicación el centro de gravedad del bloque, pudiéndose desplazar en la misma dirección para hacer la composición, hacia arriba o hacia abajo con la resultante del cómputo de esfuerzos en el bloque de anclaje.

Una vez obtenido el valor definitivo de la resultante total de la composición de la resultante del cómputo de esfuerzos en el anclaje y el peso del bloque, se procede a comprobar que el σ (sigma) admisible del terreno esté menor o igual

al previsto y que para este estudio lo hemos fijado en 2,4 Kg/cm², y la comprobación de este valor se hace a base de la fórmula que dice:

$$\sigma_t = \frac{R_t}{a \times b \times \sigma_{ta}}; \text{ en donde cada valor corresponde a:}$$

σ_t = es el valor a comprobarse y que tiene que ser menor o igual en el peor de los casos al previsto de 2,4 kg/cm²

R_t = resultante total en kilogramos.

a = ancho del bloque de anclaje en centímetros

b = base del bloque de anclaje en centímetros

σ_{ta} = 2,4 Kg/cm² que es el valor previsto.

Una vez explicados los pasos que deben seguirse para el diseño de los bloques de anclaje de la tubería de presión, vamos a proceder a realizar los cálculos respectivos, anclaje por anclaje.

ANCLAJE I:

$$a = 3,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 11,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

peso del bloque = 350 Ton.

$$h = \frac{350}{3 \times 11 \times 2,4} = 4,45 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{650000}{300 \times 1100} = 1,98 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 650 Ton. (diagrama plano No. 18)

Comprobación para asegurar que el bloque no va a deslizarse debido a la componente horizontal de la fuerza resultante total:

$$\mu = 0,4 \text{ valor del coeficiente de rozamiento para terreno húmedo (caso más desfavorable)}$$

El peso del bloque por el valor del coeficiente de rozamiento, tiene que ser mayor o igual que el valor de la fuerza resultante por el valor del seno del ángulo bajo el cual está actuando dicha fuerza resultante total. Poniendo en números tenemos que:

Peso del bloque de anclaje: 350 Ton.

coeficiente de rozamiento : 0,4

Resultante total: 650 Ton.

seno del ángulo de 37° ; 0,6 luego comprobando

$$350 \times 0,4 = 140 \text{ Ton.}$$

$$650 \times 0,6 = 390 \text{ Ton.}$$

De aquí se deduce que como el valor del empuje de la componente horizontal de la resultante total es mayor que el peso del bloque de anclaje por el valor del coeficiente de rozamiento, es necesario darle a la base del bloque de anclaje, una superficie que presente mayor dificultad al deslizamiento y esto se consigue haciendo dientes en la base, como puede apreciarse en el dibujo del bloque de anclaje No. I en el plano No. 18.

ANCLAJE II:

$$a = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 6,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ra} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

peso del bloque = 100 Ton.

$$h = \frac{100}{2,00 \times 6,00 \times 2,4} = 3,50 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_z = \frac{250000}{200 \times 600} = 2,08 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 250 Ton. (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$100 \times 0,4 = 40 \text{ Ton}$$

$$250 \times 0,308 = 77 \text{ Ton.}$$

Luego en este anclaje también es necesario hacer dientes en la base para asegurar que el bloque no va a deslizarse debido a que el valor de la componente horizontal de la resultante total es mayor que la del peso del bloque por el coeficiente de rozamiento.

ANCLAJE III:

$$a = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 10,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 350 Ton.

$$h = \frac{350}{2,00 \times 10,00 \times 2,4} = 7,30 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_r = \frac{340000}{200 \times 1000} = 1,70 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 340 Ton. (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$350 \times 0,4 = 140 \text{ Ton.}$$

$$340 \times 0,276 = 94 \text{ Ton.}$$

Por lo tanto no hay necesidad de hacer dientes en la base.

En este bloque de anclaje hay que considerar que la resultante del cómputo de esfuerzos, tiene un ángulo tal que trata de arrancar a la tubería hacia afuera del bloque de anclaje, y sabido es que el hormigón no trabaja en ningún caso en esfuerzos de tracción y que sólo trabaja a compresión y para que no se produzca una falla del bloque de anclaje por el arrancamiento de la tubería, se ha previsto que debe ponerse hierro resistente que soporte este esfuerzo de tracción que ejerce la fuerza resultante del cómputo de esfuerzos. Ahora bien, esta fuerza que tiende a arrancar la tubería se descompone a su vez en dos fuerzas, una fuerza que está actuando en la misma dirección del eje de la tubería y otra fuerza que es la que trata de arrancar a la tubería y que es perpendicular al eje de la misma. Es para soportar este esfuerzo para el que se deben poner los hierros resistentes, como se indica en el dibujo correspondiente a este anclaje en el plano No. 18.

El valor de esta fuerza perpendicular al eje de la tubería viene dado a base de:

Fuerza resultante del cómputo de esfuerzos por el valor del seno del ángulo correspondiente, lo que en números representa: $90 \times \text{sen.}42^\circ = 90 \times 0,666 = 60 \text{ Ton.}$

Luego en este anclaje No. III hay que poner hierros resistentes para soportar una tracción de 60 Ton.

ANCLAJE IV:

$$a = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 6,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

peso del bloque = 100 Ton.

$$h = \frac{100}{2,00 \times 6,00 \times 2,4} = 3,45 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{140000}{200 \times 600} = 1,18 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 140 Ton.- (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$100 \times 0,4 = 40 \text{ Ton.}$$

$$140 \times 0,39 = 54 \text{ Ton.}$$

Luego hay que hacer dientes en la base para evitar que el bloque de anclaje se deslice.

ANCLAJE V:

$$a = 3,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 6,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 200 Ton.

$$h = \frac{200}{3,00 \times 6,00 \times 2,4} = 4,65 \text{ Mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{180000}{300 \times 600} = 1,00 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 180 Ton.- (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$200 \times 0,4 = 80 \text{ Ton.}$$

$$180 \times 0,342 = 61,5 \text{ Ton.}$$

Luego no hay que hacer dientes en la base para que no se deslice el bloque.

En este bloque de anclaje No. V también hay que colocar hierros resistentes por las mismas razones y consideraciones que se expuso para el anclaje No. III, y este hierro resistente debe ser tal que soporte un esfuerzo de tracción de:

$$50 \times \text{sen } 33^\circ = 50 \times 0,40 = 20 \text{ Ton.}$$

Luego el hierro que se va a poner en este bloque de anclaje va a ser tal que resista una tracción de 20 Toneladas.

ANCLAJE VI:

$$a = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 6,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Peso del bloque} = 100 \text{ Ton.}$$

$$h = \frac{100}{2,00 \times 6,00 \times 2,4} = 3,40 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{165000}{200 \times 600} = 1,38 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 165 Ton.- (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$100 \times 0,4 = 40 \text{ Ton}$$

$$165 \times 0,09 = 14,85 \text{ Ton.}$$

Luego no es necesario hacer dientes en la base para que no se deslice este bloque de anclaje.

ANCLAJE VII:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 6,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Peso del bloque} = 60 \text{ Ton.}$$

$$h = \frac{60}{1,50 \times 6,00 \times 2,4} = 2,75 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{100000}{150 \times 600} = 0,845 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 100 ton.- (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$60 \times 0,4 = 24 \text{ Ton}$$

$$100 \times 0,226 = 22 \text{ Ton}$$

Luego no es necesario hacer dientes en la base para evitar el deslizamiento del bloque de anclaje.

ANCLAJE VIII:

$$a = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$b = 10,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Peso del bloque} = 135 \text{ Ton.}$$

$$h = \frac{135}{2,00 \times 10,00 \times 2,4} = 2,80 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{135000}{200 \times 1000} = 0,68 \text{ kgs/cm}^2$$

Resultante total = 135 Ton.- (Diagrama plano No. 18)

Comprobación al deslizamiento:

$$135 \times 0,4 = 54,00 \text{ Ton.}$$

$$135 \times 0,242 = 32,5 \text{ Ton.}$$

Luego no es necesario hacer dientes en la base, por cuanto el bloque no va a deslizarse como se comprueba.

En este bloque de anclaje también es necesario poner hierros resistentes que soporten la tracción de la fuerza que trata de arrancar la tubería y cuyo valor es de:

$$28 \times \text{sen } 35^\circ = 28 \times 0,57 = 16 \text{ Ton.}$$

Luego es necesario poner hierros resistentes para que soporten un esfuerzo de tracción de 16 Toneladas.

Queda en esta forma hecho el cálculo para el diseño de los bloques de anclaje de la tubería de presión, y cabe anotar finalmente que su construcción se la va a realizar de mampostería en la parte de la base como se puede apreciar en el plano No.18 de los bloques de anclaje, rellenando luego de colocada la tubería, con hormigón.

Para el anclaje final del último tramo de tubería, en la parte de la salida del tanque de presión, se lo va a realizar en los mismos muros del tanque, de modo que no hace falta volver a realizar el cálculo de dichos muros.

Puntos de apoyo de la tubería:

La tubería de presión en cada uno de sus tramos, necesita entre bloque de anclaje correspondiente a la parte inferior y bloque de anclaje correspondiente a la parte superior, tener puntos de apoyo, los mismos que están constituidos por bloques de mampostería y hormigón, y que van a servir tan sólo de apoyo a la tubería, la cual se desliza en estos puntos de apoyo.

A veces en algunas instalaciones para facilitar el deslizamiento de la tubería debido a los cambios de temperatura de los que ya se habló con anterioridad, se colocan en la superficie que va a tener contacto directo con la tubería, unos rodillos de acero o también de madera para reducir el coeficiente de rozamiento y facilitar por lo tanto el libre movimiento de la tubería sobre estos puntos de apoyo. Para nuestro caso consideramos que la tubería va directamente asentada sobre el bloque de apoyo, de tal manera que el coeficiente de rozamiento sigue siendo igual a 0,5.

Diseño de los puntos de apoyo:

Estos bloques que van a servir de puntos de apoyo a la tubería de presión se los diseña de manera análoga al procedimiento empleado para el diseño de los bloques de anclaje, teniendo en cuenta para este diseño, que sobre los puntos de apoyo están influenciando las siguientes fuerzas:

a) Fuerza formada por el peso de la tubería de presión vacía, esta fuerza va de acuerdo al espesor del tubo en cada tramo de tubería, ya que cada tramo como se ha calculado tiene su espesor correspondiente, y va de acuerdo también a la longitud de tubería que se considere; esta longitud va a ser constante para cada uno de los casos e igual a 12,00 mtrs., lo que significa que entre punto de apoyo y punto de apoyo van a mediar 12,00 mtrs. de separación.

- b) Fuerza debida a la resistencia producida por la fricción. Esta resistencia cuando se trata de hierro y hormigón como en nuestro caso es 0,5.
- c) Fuerza debida al peso del agua contenida en la longitud de tubería de 12,00 mtrs. que se considera.
- d) Es la fuerza debida al peso propio del bloque de apoyo, teniendo en cuenta el valor de $2,4 \text{ Ton/m}^3$ como peso específico para el material a emplearse en la construcción de estos bloques de apoyo.

Cabe anotar que el valor de 12,00 mtrs. de separación que se ha tomado entre apoyo y apoyo, no es arbitraria, sino que como la tubería para esta clase de instalaciones generalmente las casas proveedoras de este material la suministran en pedazos de 6,00 mtrs. de longitud, que es la longitud que permite el transporte y fácil manipulación de los tubos, y por lo tanto cada punto de apoyo va a ir situado cada dos pedazos de 6,00 mtrs. de tubo.

En cuanto a la fuerza debida a la fricción se refiere, hay que tomar en cuenta el valor del ángulo bajo el cual está ejerciendo su acción esta fuerza, por cuanto el valor de la misma viene dado por:

$(G_a + G_t) \cos \alpha \times 0,5$; fórmula aplicada para el cálculo de los esfuerzos en la tubería, previo al cálculo de diseño de los bloques de anclaje, y en la que se tiene:

G_a = peso del agua contenida en el tramo de tubería

G_t = peso del tubo vacío de acuerdo a su espesor y longitud

$\cos \alpha$ = valor del coseno del ángulo bajo el cual está ejerciendo su acción la fuerza

0,5 = coeficiente de rozamiento entre hierro y hormigón.

Ahora bien, he creído del caso suponer y localizar los puntos de apoyo cada dos pedazos de tubo de 6,00 mtrs. de longitud, para evitar así que las uniones hechas por soldadura entre estos tubos, coincidan con los puntos de apoyo, cosa que resultaría muy poco técnica, por cuanto no es posible obtener una superficie perfectamente lisa en el sitio de la soldadura

y esta superficie áspera y rugosa, no se deslizaría fácilmente en el punto de apoyo, y aumentaría así el coeficiente de rozamiento o de fricción.

Cada tramo de tubería va a tener un mismo tipo de apoyo, y como son 8 tramos, va a haber 8 clases ó tipos de puntos de apoyo, incluyendo los tramos 3 y 4 que van a tener la misma clase de apoyo, por encontrarse colocada la tubería de presión bajo el mismo ángulo de inclinación, tener el mismo espesor el tubo.

TRAMO 1:

Peso de tubería: $P_1 = \pi \times D_m \times e \times L \times \gamma$

Peso del agua: $P_2 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L$

Resistencia a fricción: $P_3 = (P_1 + P_2) \cos \alpha \times 0,5$

Los significados de los términos en las fórmulas son:

D_m = diámetro medio de la tubería e igual a 0,947 mtrs,

e = espesor del tubo, diferente para cada tramo.

L = longitud de tubo, valor constante e igual a 12,00 mtrs.

γ = 7,5 peso específico del hierro de tubería de presión.

D = diámetro interior de la tubería e igual a 0,92 mtrs.

Reemplazando cada término por su valor correspondiente tenemos:

$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,027 \times 12 \times 7,5 = 7,20 \text{ Ton.}$

$P_2 = \frac{3,14 \times 0,85^2}{4} \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$

$P_3 = (7,20 + 8,00) \times 0,908 \times 0,5 = 6,90 \text{ Ton.}$

Diseño del apoyo:

Admitiendo un peso de 20 Ton. para el bloque de apoyo y además un valor de 2,4 Kg/cm² como sigma (σ_{tr}) admisible para el terreno y 2,4 Ton/m³ para el hormigón tenemos:

$a = 1,5$ mtrs, es el ancho del bloque

$b = 3,0$ mtrs, es la longitud de la base del bloque

A base de estos datos estamos en posibilidad de calcular la alt

"h" que va a tener el bloque de apoyo de la tubería:

$$h = \frac{20}{1,5 \times 3,00 \times 2,4} = 1,85 \text{ mtrs.}$$

Para obtener el valor de la resultante total, hay que referirse a los dibujos de los bloques de apoyo en el plano de conjunto No. 19 y esta fuerza resultante total, al igual que para los casos anteriores de los bloques de anclaje, debe pasar por el tercio medio de la base del bloque.

$$\sigma_c = \frac{37000}{150 \times 300} = 0,82 \text{ Kgs/cm}^2$$

La resultante en su valor más desfavorable vale 37 Ton.

Comprobación al deslizamiento:

$$20 \times 0,4 = 8,00 \text{ Ton}$$

$$37 \times 0,157 = 5,80 \text{ Ton}$$

Luego no es necesario hacer dientes en la base para evitar el deslizamiento del bloque de apoyo de este tramo.

TRAMO 2

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0245 \times 12 \times 7,5 = 6,62 \text{ Ton}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (6,62 + 8,00) \times 0,77604 \times 0,5 = 5,62 \text{ Ton.}$$

Diseño del apoyo:

Como existe muy poca diferencia entre los esfuerzos en el bloque de apoyo del tramo anterior de tubería y éste, creo que se pueden admitir los mismos apoyos para este tramo 2, sin embargo por razones de economía, vamos a diseñar otro apoyo un poco menos pesado, o sea con menos material:

$$a = 1,5 \text{ mtrs.}$$

$$b = 2,5 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_c = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 10 Ton.

$$h = \frac{10}{1,5 \times 2,5 \times 2,4} = 1,10 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_c = \frac{26000}{150 \times 250} = 0,695 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 26 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$10 \times 0,4 = 4,00 \text{ Ton}$$

$$26 \times 0,157 = 4,10 \text{ Ton}$$

Luego si es necesario en este bloque de apoyo hacer dientes en la base para evitar su deslizamiento.

TRAMOS 3 y 4:

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0178 \times 12 \times 7,5 = 4,75 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (4,75 + 8,00) \times 0,87899 = 5,7 \text{ Ton}$$

Diseño del apoyo:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 3,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ca} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 15 Ton.

$$h = \frac{15}{1,50 \times 3,00 \times 2,4} = 1,40 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{22500}{150 \times 300} = 0,55 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 22,5 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$15 \times 0,4 = 6,00 \text{ Ton}$$

$$22,5 \times 0,24 = 5,40 \text{ Ton}$$

No es necesario hacer dientes en la base de este bloque de apoyo para evitar su deslizamiento.

TRAMO 5:

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0125 \times 12 \times 7,5 = 3,34 \text{ Ton}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (3,34 + 8,00) \times 0,98481 \times 0,5 = 5,6 \text{ Ton.}$$

Diseño del apoyo:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 2,50 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ca} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque: 13 Ton.

$$h = \frac{13}{1,50 \times 2,5 \times 2,4} = 1,44 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{27000}{150 \times 250} = 0,725 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 27 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$13 \times 0,4 = 5,2 \text{ Ton}$$

$$27 \times 0,181 = 4,95 \text{ Ton.}$$

No hay necesidad de hacer dientes en la base del bloque de apoyo para evitar su deslizamiento.

TRAMO 6:

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0115 \times 12 \times 7,5 = 3,10 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (3,10 + 8,00) \times 0,82904 \times 0,5 = 4,6 \text{ Ton.}$$

Diseño del apoyo:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 2,20 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 10 Ton.

$$h = \frac{10}{1,5 \times 2,2 \times 2,4} = 1,25 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{23000}{150 \times 220} = 0,705 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 23 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$10 \times 0,4 = 4,00 \text{ Ton}$$

$$23 \times 0,138 = 3,26 \text{ Ton.}$$

No hay necesidad de hacer dientes en la base del bloque para evitar su deslizamiento.

TRAMO 7:

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0079 \times 12 \times 7,5 = 2,10 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (2,10 + 8,00) \times 0,7071 \times 0,5 = 3,56 \text{ Ton.}$$

Diseño del apoyo:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 10 Ton.-

$$h = \frac{10}{1,5 \times 2,00 \times 2,4} = 1,40 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{22500}{150 \times 200} = 0,750 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 22,5 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$10 \times 0,4 = 4,00 \text{ Ton}$$

$$22,5 \times 0,104 = 2,33 \text{ Ton}$$

No hay necesidad de hacer dientes en la base del bloque de apoyo para evitar su deslizamiento.

TRAMO 8:

$$P_1 = 3,14 \times 0,947 \times 0,0027 \times 12 \times 7,5 = 0,725 \text{ Ton.}$$

$$P_2 = 0,665 \times 12 = 8,00 \text{ Ton.}$$

$$P_3 = (0,725 + 8,00) \times 0,96126 \times 0,5 = 4,16 \text{ Ton.}$$

Diseño del apoyo:

$$a = 1,50 \text{ mtrs.}$$

$$b = 2,00 \text{ mtrs.}$$

$$\sigma_{ta} = 2,4 \text{ Kgs/cm}^2$$

$$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$$

Peso del bloque = 10 Ton.-

$$h = \frac{10}{1,50 \times 2,00 \times 2,4} = 1,40 \text{ Mtrs.}$$

$$\sigma_t = \frac{21000}{150 \times 200} = 0,70 \text{ Kgs/cm}^2$$

Resultante total = 21 Ton.- (Diagrama plano No. 19)

Comprobación al deslizamiento:

$$10 \times 0,4 = 4,00 \text{ Ton}$$

$$21 \times 0,210 = 4,40 \text{ Ton.}$$

si hay necesidad de hacer dientes en la base.

Cálculo de la maquinaria:

Para poder realizar un cálculo de una maquinaria de un modo real y que se encuentre de acuerdo a las necesidades, ya sean éstas inmediatas o ya sean futuras de parte de los centros consumidores de energía eléctrica de la ciudad de Ambato, es indispensable conocer un dato a cerca del probable consumo actual y del probable consumo futuro por parte de dicha Ciudad.

Para el efecto de valorizar estos consumos: actual y futuro y a base de los datos estadísticos suministrados por el Ing. Kakabadse, se puede hacer el cuadro que a continuación se detalla, en el cual van especificadas las cifras decidoras de las potencias a instalarse en un futuro, anticipándome a asegurar que en la ciudad de Ambato actualmente se puede contar con unos 1500 Kw. instalados, cifra por demás exigua, si se tiene en cuenta que la Provincia de Tungurahua y en especial su capital, Ambato, es un centro de industria, la cual se halla actualmente muy reducida debido a la escases que existe de energía eléctrica.

Cuadro de Potencia a instalarse para Ambato:

<u>AÑOS</u>	<u>Kwh</u>	<u>Kw promedio</u>	<u>Factor</u>	<u>Kw instalados</u>
1 - 1956	11.650.000	1.330	0,475	2.800
2 - 1957	15.540.000	1.770	0,500	3.540
3 - 1958	19.200.000	2.190	0,525	4.170
4 - 1959	22.850.000	2.610	0,550	4.750
5 - 1960	25.150.000	2.870	0,5500	5.210
6 - 1961	27.650.000	3.160	0,550	5.750
7 - 1962	30.400.000	3.470	0,550	6.300
8 - 1963	33.500.000	3.820	0,550	6.950
9 - 1964	36.800.000	4.200	0,550	7.640
10 - 1965	40.500.000	4.620	0,550	8.400

Como puede apreciarse del cuadro que antecede, la instalación hay que proyectarla y proveer sus elementos para un lapso de tiempo de por lo menos 10 años a partir del primer año que esté ya en posibilidades de generar energía eléctrica la planta, que para los efectos de cálculo y planteamiento del proyecto, se ha fijado que los años primero, segundo, tercero

etc. se cuenten a partir del año 1956, o sea que se debe tener en cuenta las instalaciones para por lo menos hasta el año 1965.

Para una instalación inmediata que cubra los actuales requerimientos y necesidades de la ciudad de Ambato, más la energía en un lapso de 6 años o sea hasta 1962, se puede apreciar que es suficiente con instalar inicialmente unos 5.750 Kw. considerando los Kilowatios ya existentes e instalados, como si en realidad no estuvieran sirviendo a la ciudad, para tener en esta forma un sobrante de energía que cubra o sirva de reserva para posibles demandas que no estén previstas actualmente.

Para que se pueda apreciar la capacidad total de generación de energía del Proyecto "Huapante", a base de un caudal de $Q = 4 \text{ mtrs}^3/\text{seg.}$ y para entrar en los cálculos de la maquinaria propiamente tal, sin entrar desde luego en los detalles de construcción, ya que este aspecto es demasiado complejo y varía según las patentes de cada una de las casas constructoras y proveedoras de esta clase de maquinaria como turbinas, generadores, con todos sus elementos componentes y auxiliares, son las encargadas de suministrar las casas constructoras los datos de montaje y manejo de la maquinaria, vamos a plantear a continuación un cálculo global y condensado de la potencia total de instalación, potencia total que viene dada por los factores conocidos de: caída útil de 390 mtrs., caudal disponible para el Proyecto de $Q = 4 \text{ mtrs}^3/\text{seg.}$ y rendimientos de cada uno de los elementos de la instalación, que se los fija a base de tablas proporcionadas por las casas proveedoras de esta clase de maquinaria.

Potencia de instalación:

a base de los datos de:

H_b = altura bruta de caída = 400 mtrs.

H_u = altura útil de caída = 390 mtrs.

Q = caudal disponible para el Proyecto = $4 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y para el cual están previstos todos los elementos de la obra, tanto elementos para la obra hidráulica, como elementos de la obra mecánica.

η_t = rendimiento de las turbinas, dado por las características de construcción y especificaciones técnicas de la casa constructora y que tomándolo como un valor promedio, se lo puede fijar en 90%.

N = Potencia de la instalación en caballos de fuerza (H.P.)

Kw = Potencia de la instalación en kilowatios (eléctrica).

Tenemos que partir de la fórmula que nos da la potencia de la instalación en caballos de fuerza y que dice:

$$N = \frac{1000 \times Q \times H_u}{75} \times \eta_t$$

Reemplazando los valores conocidos tenemos que:

$$N = \frac{1000 \times 4 \times 390}{75} \times 0,90 = 18.720 \text{ H.P.}$$

Ahora bien, estos 18.720 H.P. representan una potencia eléctrica dada en kilowatios igual a :

1 H.P. = 0,736 Kw. y si admitimos un rendimiento de los generadores eléctricos de 95%, se tiene que:

$$Kw = 0,95 \times 18.720 \times 0,736 = 13.089 \text{ Kw.}$$

Esta energía o potencia eléctrica de 13.089 Kw., pueden y de hecho van a ser generados en 4 grupos generadores de una potencia de 3.272 Kw. cada uno.

De los cálculos y consideraciones anteriores se deduce que para instalación inmediata para cubrir las necesidades de Ambato, teniendo en cuenta que hay apenas unos 1500 Kw. instalados en la actualidad, desde el año de comienzo de generación de energía que hemos fijado que sea de 1956 a seis años más o sea al año 1962, sería de instalarse dos grupos de 3.272 Kw. cada uno dejando para instalar un grupo más de 3.272 Kw. a partir del octavo año o sea a partir de 1964, con lo que quedaría prácticamente servida la ciudad de Ambato para unos 11 o 12 años o sea hasta 1968, año en el cual, si es que se necesita más energía eléctrica, se podría instalar un cuarto grupo de otros 3.272 Kw. ya que la instalación y los cálculos de las obras se ha previsto para poder alimentar cuatro grupos generadores de 3.272 Kw. cada uno, accionados por turbinas adecuadas, cuyo cálculo viene inmediatamente.

Cálculo de las turbinas:

Como anteriormente se ha dicho, van a tener que instalarse de inmediato dos grupos generadores accionados por sus respectivas turbinas, las mismas que hay que calcularlas y dar sus especificaciones, cálculo correspondiente y que va a continuación.

El caudal total $Q = 4$ metros cúbicos por segundo va a dividirse por igual en las dos tuberías de presión gemelas que ya se especificó con anterioridad y que a su vez van a servir a dos grupos por separado cada tubería de presión, de tal manera que el caudal Q que va a accionar cada turbina va a ser de un metro cúbico por segundo o sea 1000 ltrs/seg. por cada grupo generador.

La instalación y obra inicial que se ha previsto como cosa inmediata va a ser como se dijo de una sola tubería de presión que alimente con el caudal de dos metros cúbicos por segundo a los dos grupos generadores inmediatos a instalarse, aun cuando toda la obra y cálculos se hayan hecho para un caudal de cuatro metros cúbicos por segundo, desde la bocatoma, canal de conducción, tanque desarenador, tanque de presión etc.

Para llegar a determinar el tipo de turbina que va a accionar cada grupo generador, hay que empezar por determinar el llamado número específico de revoluciones o " N_s " y que según el Ing. L. Quantz viene definido como el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se precisa o se busca y que diese exactamente un caballo de potencia con un desnivel o caída de $H = 1$ mtrs.

Para calcular el número específico de revoluciones o " N_s " se tiene la siguiente fórmula:

$$N_s = n_1 \times \sqrt{\frac{Q_1}{100}} \quad ; \text{ siendo respectivamente:}$$
$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} \quad ; \quad \text{y} \quad Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad \text{fórmula que nos permite calcular el número específico de revoluciones para cualquier tipo de caída o desnivel.}$$

En las fórmulas anteriores cada expresión representa:

Q_1 = es el denominado caudal específico, que resulta del cociente del caudal total $Q = 1$ metro cúbico por segundo para la raíz cuadrada de la altura neta de caída o sea 390 mtrs, en nuestro caso.

n_1 = es el denominado número de revoluciones por minuto específico que resulta del cociente del número de revoluciones asignado a la turbina para la raíz cuadrada de la altura neta de caída.

Hay también la fórmula que da el número específico de revoluciones o " N_s " a base de la potencia en caballos de fuerza o H.P., fórmula que permite calcular el número específico de revoluciones pero tan sólo de una determinada turbina o sea para un determinado salto o caída, puesto que la potencia en H.P. es función directa de la caída. Esta fórmula se expresa así:

$$N_s = n \frac{\sqrt{N}}{H \times \sqrt[4]{H}} ; \text{ en esta fórmula tenemos}$$

que cada expresión significa:

- N_s = número específico de revoluciones
- n = número de revoluciones por minuto asignado a la turbina
- N = potencia en H.P. de la turbina, dada a base de la caída neta y del rendimiento de la máquina
- H = altura neta de caída dada en metros.

A continuación, para poder tener una relación entre el número específico de revoluciones y el tipo de turbina a que corresponde, va la tabla con sus equivalentes:

N_s	Tipo de turbina
2 a 40	Turbinas Pelton
80 a 150	Turbinas Francis de marcha lenta
150 a 300	Turbinas Francis de tipo normal
300 a 400	Turbinas Francis de marcha rápida
400 a 800	Turbinas de Hélice
800 a 1200	Turbinas Kaplan

Para poder reemplazar los valores correspondientes en la fórmula del número específico de revoluciones, hay que determinar por partes cada uno de los valores de los términos, así tenemos que:

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

siendo $Q = 1000$ litros por segundo

$H = 390$ mtrs. de caída neta, reemplazamos estos valores y tenemos que:

$$Q_1 = \frac{1000}{\sqrt{390}} = 51$$

del mismo modo tenemos:

$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$; en este caso no hay como ir directamente a un número de revoluciones por minuto "n" determinado, sino que hay que probar por cálculos de tanteo el "n" correspondiente para cada caso, hasta obtener un número específico de revoluciones que esté de acuerdo con las necesidades y condiciones impuestas por la instalación.

Para un primer cálculo de aproximación por tanteo, asumimos un "n" para la turbina de 900 RPM, y así tenemos que:

$$n_1 = \frac{900}{\sqrt{390}} = 45,6$$

Y finalmente el número específico de revoluciones viene dado a base del reemplazo de estos valores en la fórmula general;

$$N_s = 45,6 \times \sqrt{\frac{51}{100}} = 32,4$$

De este primer cálculo de aproximación por tanteo, ya se puede sacar una conclusión o dato y que consiste en que la clase o tipo de turbina a emplearse en la instalación es una del tipo Pelton, pero como el número específico de revoluciones de 32,4 es bastante alto y siendo preferible encontrar e instalar turbinas de un N_s más bajo dado el salto o desnivel de 390 mtrs. por cuanto según las normas que da el Ing. L. Quantz se tiene que para saltos entre 550 mtrs. y 300 mtrs, que es nuestro caso, se debe tener un número específico de revoluciones que varíe entre 20 y 30, tenemos que necesariamen

ir a un número de revoluciones "n" más bajo, por ejemplo a 720 RPM, que es una velocidad sincrónica inmediatamente inferior a 900 RPM. que se tomó para el primer cálculo de aproximación.

Pero antes voy a poner la tabla que da el Ing. L. Quantz en la cual se especifica el tipo de turbina según el número específico de revoluciones, luego el número más favorable de revoluciones "n_q" y finalmente el salto o caída máxima admisible H_{max. adm.}

TIPO DE TURBINA	N _s	n _q	H máx. admisible
Rueda tangencial de una boquilla (PELTON)	10 a 13	3 a 4	1800 a 1300 mtrs.
	12 a 20	4 a 6	1300 a 550 mtrs.
	20 a 30	6 a 9	550 a 300 mtrs.
Francis lenta	60 a 125	18 a 38	350 a 150 mtrs.
	125 a 175	38 a 53	140 a 120 mtrs.
	175 a 225	53 a 68	120 a 80 mtrs.
Francis normal	225 a 350	68 a 105	80 a 35 mtrs.
	350 a 450	105 a 135	35 a 20 mtrs.
	350 a 600	105 a 180	35 a 18 mtrs.
Francis rápida	600 a 800	180 a 240	18 a 12 mtrs.
	800 a 1000	240 a 300	12 a 5 mtrs.
	Hélice y Kaplan		

Como explicación al cuadro que antecede debe anotarse que el llamado número más favorable de revoluciones o "n_q", para una turbina de la serie que se considera, que con un metro de salto útil y con la máxima apertura, consuma precisamente un metro cúbico por segundo, y este valor viene dado por la fórmula que dice:

$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[3]{H^3}}$$

Este valor del número más favorable de revoluciones para el primer cálculo con 900 RPM de la turbina, viene a ser igual a:

$$n_q = \frac{900 \times 1}{87} = 10.$$

Realizamos otro cálculo con 720 RPM, para ver qué valor obtenemos para el número específico de revoluciones:

Cálculo con 720 RPM:

Los datos del caudal y de la caída neta son los mismos, de tal manera que:

$$n_1 = \frac{720}{\sqrt{390}} = 36,5$$

$$Q_1 = \frac{1000}{\sqrt{390}} = 51$$

$$N_s = 36,5 \times \sqrt{\frac{51}{100}} = 26$$

$$n_q = \frac{720 \times 1}{87} = 8,27$$

Estos valores para el número específico de revoluciones de 26 y para el número más favorable de revoluciones de 8,27 son valores aceptables y que corresponden a una turbina del tipo PELTON de una boquilla y que se encuentra enmarcada dentro de las especificaciones prescritas.

Cada turbina va a tener por consiguiente una velocidad de 720 revoluciones por minuto y su potencia individual va a ser de:

la potencia total de 18.720 H.P. dividida para las cuatro turbinas o sea que cada turbina va a tener una potencia de:

$$\frac{18.720}{4} = 4.680 \text{ H.P.}, \text{ teniéndose en cuenta}$$

que para instalación inmediata van a montarse dos turbinas servidas por una sola tubería de presión, dejando la instalación del tercer y cuarto grupos para el futuro de acuerdo a las necesidades y detalles dados anteriormente.

Estas turbinas Pelton de 720 RPM. de una sola boquilla van a accionar cada una un generador eléctrico de 3.272 Kw. como se dedujo con anterioridad.

Cálculo de las turbinas: (Ampliación)

He creído conveniente el calcular por separado las turbinas mismo, o sea los elementos que componen dichas máquinas hidráulicas, como son el rodete

que constituye la turbina, con su diámetro, número de cucharas, paletas o cazoletas etc. aun cuando las turbinas van a venir fabricadas en el exterior, pero siendo éste un trabajo de tesis, es indispensable deducir por fórmulas los valores que van a tener estos elementos de las turbinas.

Tipo de turbina: PELTON o de chorro libre, servida por una sola tobera, con un número específico de revoluciones de 26, y número de revoluciones por minuto de 720, de eje horizontal montado sobre chumaceras de aleación magnolia, lubricadas por medio de bombas que inyectan aceite a presión.

La velocidad con que gira el rodete de la turbina se puede asumir que es aproximadamente la mitad de la velocidad que adquiere el agua en su caída libre, debida tan sólo al desnivel o altura de caída y a la aceleración de la gravedad. De tal manera que se puede escribir que:

V_r = velocidad del rodete es igual a:

$$1/2.V_a ; \text{ siendo la velocidad del}$$

agua " V_a ":

$$V_a = \sqrt{2g.H} \text{ por ser caída libre, luego}$$

$$V_r = \frac{1}{2} \sqrt{2g.H} \text{ y que a su vez resulta ser}$$

también la velocidad circunferencial del rodete de la turbina.

Los valores a reemplazarse en la fórmula son:

$$2g = 19,62 \text{ mtrs/seg.}$$

$$H = 390 \text{ mtrs}$$

$$V_r = \frac{1}{2} \sqrt{19,62 \times 390} = 43,5 \text{ mtrs/seg.}$$

Es necesario también conocer el diámetro del chorro que acciona directamente sobre las paletas de la turbina, y este valor del diámetro del chorro viene dado por la fórmula que dice:

$$D_{ch} = \sqrt{\frac{Q}{\pi/4 \times c_1 \times \sqrt{2gH}}}$$

En esta fórmula los valores corresponden a:

D_{ch} = diámetro del chorro a la salida de la tobera

Q = caudal de un metro cúbico por segundo

c_1 = coeficiente de contracción a la salida de la tobera

El coeficiente de contracción "c₁" se ha fijado en 0,95
π/4 = valor constante para el cálculo

Al hacer el producto del coeficiente de **contracción** 0,95 por la constante de cálculo, tenemos un valor de 0,75 que es el que se aplica finalmente.

$$\frac{3,14 \times 0,95}{4} = 0,75$$

De tal manera que reemplazando los valores conocidos se tiene:

$$D_{ch} = \sqrt{\frac{1}{0,75 \times 87}} = 0,13 \text{ mtrs.}$$

Así que el diámetro del chorro a la salida de la tobera es de 13 centímetros.

El diámetro de la tobera o boquilla por donde sale el agua tiene que ser necesariamente un poco mayor y así se tiene que vale:

$$D_b = 1,05 \times D_{ch} ; \text{ lo que reemplazando da:}$$

$$D_b = 1,05 \times 13 = 13,65 \text{ cms.}$$

Las secciones respectivas a estos diámetros son:

$$S_{ch} = \frac{\pi \times D_{ch}^2}{4} = \frac{3,14 \times 13 \times 13}{4} = 133 \text{ cm}^2$$

$$S_b = \frac{\pi \times D_b^2}{4} = \frac{3,14 \times 13,65 \times 13,65}{4} = 146$$

Rodete:

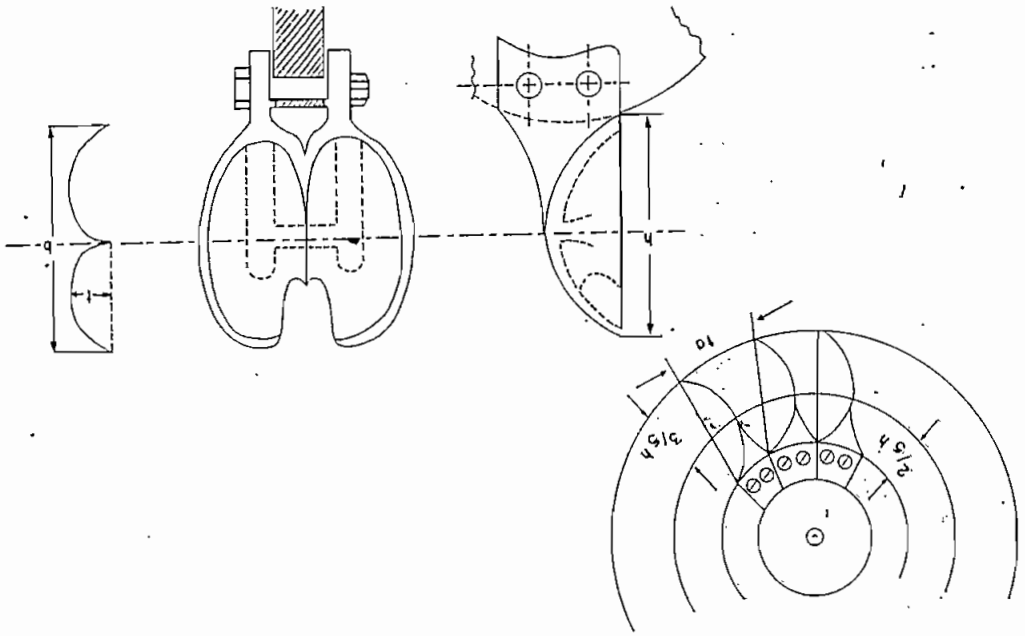
la velocidad del rodete o velocidad circunferencial que tiene el rodete determinamos que vale 43,5 m/s. y conocida esta velocidad del rodete podemos obtener el valor del diámetro medio que va a tener este rodete de la turbina, entendiéndose por diámetro medio la distancia que existe entre el un extremo y el extremo opuesto pasando por el centro del rodete, del sitio en el que golpea el chorro de agua en las cucharas.

La fórmula que nos da el diámetro medio viene a base de:

$$V_r = \frac{\pi \times n \times D_m}{60}$$

DETALLE DEL RODETE Y DE LAS CUCHARAS

ta ~ h
 ta = paso



For a system of...
...with...
...of...



to ~ h
to = o s o d

LAS CUCHA

DE ALLE DE...

16
BIS

En esta fórmula conocemos los siguientes valores:

V_r = velocidad del rodete o velocidad circunferencial = 43,5 m/s

n = revoluciones por minuto de la turbina = 720 RPM

Y despejando la incógnita que es el Diámetro medio D_m tenemos que:

$$D_m = \frac{60 \times 43,5}{3,14 \times 720} = 1,15 \text{ mtrs o } 115 \text{ cms.}$$

Así pues el rodete tiene un diámetro medio de 115 centímetros

Cucharas, paletas o cazoletas:

Son elementos del rodete de la turbina que son los que reciben directamente la acción del chorro de agua, que tiene su energía cinética, y sus dimensiones y su número van calculados a base de la fórmula respectiva y que son fórmulas prácticas de construcción, su dibujo y medidas van en el plano No. 16 adjunto.

Dimensiones de las cucharas:

b = ancho de la cuchara

h = alto de la cuchara

t = profundidad de la cuchara

Para obtener estas dimensiones que se necesitan, hay que partir del valor del diámetro de la boquilla que ya lo determinamos y cuyo valor es de 13,65 cms. y por aproximación podemos poner como igual a 14 cms. por exceso, y según los manuales de construcción de turbinas Pelton se puede poner que:

$$b = \text{ancho de la cuchara} = 3,25 D_b$$

$$h = \text{alto de la cuchara} = 3,00 D_b$$

$$t = \text{profundidad de la cuchara} = 1,50 D_b$$

Reemplazando los valores correspondientes se tiene que:

$$b = 3,25 \times 14 = 45,5 \text{ cms}$$

$$h = 3,00 \times 14 = 42,0 \text{ cms}$$

$$t = 1,50 \times 14 = 21,0 \text{ cms}$$

Estas vienen a ser las dimensiones de las cucharas como se puede ver en el dibujo adjunto.

Número de cucharas:

el número de cucharas, paletas o cazoletas que va a tener el rodete de la turbina para nuestra instalación, viene a base de la consideración de que el "paso" o separación entre cuchara y cuchara se puede hacer semejante al valor de "h" o altura de la cuchara, y según esto se tiene que:

$$t_a = \text{paso o separación, semejante a "h"}$$

En el dibujo No. 16 (bis) adjunto, se puede apreciar las dimensiones de las cucharas, así como los valores del paso "t_a" y diámetro medio etc.

Para poder obtener el número de cucharas del rodete hacemos los siguientes cálculos:

D_e = diámetro exterior del rodete que a su vez vale:

$$D_e = D_m + 2 \times \frac{3}{5} \times h$$

Reemplazando tenemos:

$$D_e = 115 + 2 \times \frac{3}{5} \times 42 = 224 \text{ cms.}$$

Este es el denominado diámetro exterior del rodete y que se lo toma inclusive la altura de las cucharas, y siendo "t_a" el paso o división exterior lo que corresponde a los tipos normales de turbinas Pelton, y así tendremos que el número de cucharas "Z" será de:

$$Z = \frac{3,14 \times D_e}{t_a} ; \text{ lo que nos da reemplazando los va-}$$

lores respectivos:

$$Z = \frac{3,14 \times 224}{42} = 16$$

Luego el rodete de nuestra turbina va a tener 16 cucharas, paletas o cazoletas que son las que reciben el chorro de agua y dan por consiguiente el impulso al rodete de la turbina, transmitiendo la energía cinética que trae el agua debido al desnivel o caída que existe.

Regulador de la turbina:

El regulador de la turbina, es un mecanismo que va de acuerdo a la instalación y necesidades de la misma, y cuyo esquema está representado en el plano No.15.

La explicación del funcionamiento del regulador adoptado es la siguiente: primeramente consideramos que este regulador es el llamado de tipo automático para doble regulación, que es el que se emplea en esta clase de instalaciones de importancia y características técnicas como son caudal y caída disponible; en segundo lugar hay que aclarar que este tipo de regulador es hidráulico o sea que funciona con aceite a presión que es el que acciona los elementos de regulación:

Si suponemos por ejemplo que la turbina ha sido bruscamente descargada, por una baja del consumo o carga en el sistema, el regulador, levantará su válvula "st", con lo cual el aceite a presión entrará en el cilindro grande y hará bajar el émbolo "k", con lo que la palanca "h" bajará girando al rededor de su punto fijo y el desviador "a", cortará el chorro, desviando una parte del caudal de agua que está accionando sobre las cucharas del rodete.

El punzón que está retenido por la palanca "h" no avanza ahora en conjunto solidariamente con dicha palanca, debido a la hendidura "s", sino que es empujado lentamente por el agua a presión que pasa por el orificio estrecho señalado en el plano y que obra sobre el émbolo "v". El punzón en su avance llega a encontrarse de nuevo con el tope de la hendidura, siendo mantenido entonces por la palanca "h" que le impide seguir cerrando.

Si por el contrario sobreviene una carga brusca, el émbolo "k" funciona en sentido contrario y tira rápidamente el punzón hacia atrás, lo que sucede con facilidad gracias a una válvula que tiene el émbolo "v", que da salida rápida al agua que hay encima de él, llevando de un modo simultáneo al desviador del chorro a su primitiva posición.

La nueva posición de equilibrio se consigue por la vuelta de la válvula "st" reguladora a una posición inicial.

La regulación doble se emplea cuando al cerrar rápidamente la tobera por medio de su aguja, se espera que se produzcan enormes elevaciones de presión en la tubería de presión, y además cuando hay interés en desperdiciar el mínimo posible de agua, que es lo que nos interesa en nuestro Proyecto, máxime que esta instalación va a ser susceptible de acumular agua en el reservorio de regulación diurna, del cual se tratará a su debido tiempo.

La regulación doble consiste en que además de la aguja de la tobera, que regula el grueso del chorro de carga, influye un desviador "a" en el chorro de agua. En variaciones pequeñas y lentas de carga, trabaja sola la regulación por aguja y deja libre al chorro una sección de paso correspondiente a la carga al correrse la aguja en la boca de la tobera. En descargas mayores y bruscas, entra también en acción el desviador "a", regulando como se indica en el plano No.15a) él sólo primeramente al entrar en seguida en acción al producirse una descarga y disminuir el caudal actuante sobre la rueda por completa o parcial desviación del chorro. Luego poco a poco se aleja la aguja de la tobera a la posición correspondiente a la nueva carga, mientras que al mismo tiempo el desviador "a" vuelve a retirarse del chorro y se queda en una posición al borde del mismo.

Con esto no se atiende solamente a la exigencia de seguridad del servicio (rápida disminución de la carga de la turbina evitando golpes de ariete en la tubería de presión), sino también a la economía del agua que es asunto vital en nuestra instalación.

Finalmente para terminar con lo relativo y primordial sobre el regulador de la turbina, es preciso determinar el llamado tiempo de cierre " T_0 " del regulador, teniendo en cuenta la sobrepresión con la que se va a trabajar o se va a considerar como admisible y que en este caso por tratarse de instalación con turbinas del tipo Pelton o de chorro libre, se fija que va a ser de un 10%.

La fórmula a base de la cual se va a calcular el tiempo "T_o" de cierre para el regulador de la turbina, viene dada en la siguiente forma:

$$H\% = \frac{L}{H} \times \frac{\Delta v}{T_o} \times \frac{15}{1}$$

En esta fórmula las expresiones son las siguientes:

H% = sobrepresión admisible para turbinas y que en nuestro caso es de 10% por tratarse de instalación con turbinas Pelton.- Para instalaciones con turbinas del tipo Francis se debe considerar esta sobrepresión como igual a un 50%.

L = longitud total de la tubería de presión o sea 850 mtrs.

T_o = tiempo de cierre de la admisión, que es la incógnita a despejar.

Δv = es la diferencia de velocidad existente entre la velocidad a plena carga y la velocidad a vacío. Este valor de Δv se lo tiene que determinar a base de:

$$\Delta v = \text{velocidad a plena carga} - \text{velocidad a vacío.}$$

Tenemos que la velocidad a plena carga es de 3,00 m/s y de descripciones de reglamento para esta clase de instalaciones se tiene que la velocidad a vacío debe ser igual a un 4% de esa velocidad a plena carga, o sea que la velocidad a vacío será de:

$$\frac{3,00 \times 4}{100} = 0,12 \text{ m/s.}$$

de donde podemos ya despejar el valor de Δv:

$$\Delta v = 3,00 - 0,12 = 2,88 \text{ m/s}$$

reemplazando los valores conocidos en la fórmula primera tenemos que:

$$10\% = \frac{850}{390} \times \frac{2,88}{T_o} \times 15$$

H = 390 mtrs. altura neta de la caída.

$$T_o = \frac{850 \times 2,88 \times 15}{10 \times 390} = 9,4 \text{ segundos.-}$$

Luego se necesita que transcuran 9,4 segundos antes de que el regulador esté completamente cerrado con su aguja en la tobera.

Cálculo del Diámetro económico:

Quando se calculó el diámetro que debía tener la tubería de presión, no se tomó en cuenta el llamado cálculo del diámetro económico de dicha tubería, y cierto es que existe un procedimiento de cálculo para este diámetro a base de la fórmula que dice:

$$D_e = \sqrt[7]{\frac{5,2 \times Q^3}{H}} ; \text{ fórmula en la que}$$

cada término expresa lo siguiente:

D_e = diámetro económico a calcularse

Q = caudal disponible para la instalación de una tubería e igual a dos metros cúbicos por segundo.

H = altura neta de la caída o sea la de 390 mtrs.

Reemplazando estos valores en la fórmula tenemos que:

$$D_e = \sqrt[7]{\frac{5,2 \times 8}{390}} = 0,73 \text{ mtrs.}$$

Este diámetro económico difiere del diámetro calculado y asignado para la tubería de presión, el cual fué calculado a partir de la consideración de las pérdidas en la tubería, y esta diferencia de 19 cms. en el diámetro interior va a dar lugar a las consideraciones siguientes:

Al aplicar el valor de 0,73 mtrs. para el diámetro interior de la tubería, en lugar de ser de 0,92 mtrs. como lo calculamos y establecimos, tenemos que:

$$S = \frac{3,14 \times d^2}{4} ; \text{ reemplazando los valores:}$$

$$S = \frac{3,14 \times 0,73 \times 0,73}{4} = 0,42 \text{ mtrs.}^2$$

y si tenemos que el caudal Q es de dos metros cúbicos por segundo, podemos obtener la velocidad del agua en esta tubería de diámetro económico a base de la fórmula conocida de:

$$S = \frac{Q}{v} ; \text{ reemplazando los valores deter-}$$

minados tenemos:

$$S = 0,42 \text{ m}^2$$

$$Q = 2,00 \text{ metros cúbicos/segundo}$$

$$v = \text{la incógnita a despejarse}$$

De donde la velocidad del agua "v" será igual a:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{2,00}{0,42} = 4,86 \text{ mtrs/seg.}$$

y además el valor de v^2

$$v^2 = 4,86 \times 4,86 = 23$$

Reemplazamos los valores obtenidos en la fórmula que nos permite calcular las pérdidas en la tubería y tenemos que:

$$h_w = 0,024 \times \frac{L}{2g} \times \frac{v^2}{d}$$

$$h_w = 0,024 \times \frac{850}{19,62} \times \frac{23}{0,73} = 32,13 \text{ mtrs.}$$

Como puede apreciarse son 32,13 mtrs. los que se pierden por fricción en esta tubería de diámetro económico de 0,73 mtrs. y esto es inadmisibles ya que representa un 8,07% de la caída bruta de 400 mtrs., y al traducir estas pérdidas de 8,07% de la caída bruta que se pierden a un valor de kilowatios no generados, tenemos que:

Con 390 mtrs. en las condiciones estipuladas de rendimiento se llegan a generar 13.089 Kw. y

con 32,13 mtrs. cuántos kilowatios se generarán en estas mismas condiciones ya estipuladas de rendimiento y caída y un caudal de 4,00 metros cúbicos por segundo.

$$x = \frac{13089 \times 32,13}{390} = 1080 \text{ Kw.}$$

Pero como no son 4,00 metros cúbicos por segundo de caudal, sino tan sólo dos metros, tendremos que se dejan de generar tan sólo la mitad o sea 540 Kw.

Estos 540 Kw. que se dejan de generar, con un factor de aprovechamiento de solamente 0,5 en un año representarán:

$$540 \times 365 \times 24 \times 0,5 = 2.385.000 \text{ Kwh}$$

Estos 2.385.000 Kwh que se pueden llegar a generar en un año y con sólo un 0,5 de factor de aprovechamiento, si se supone que el costo del Kwh. es de \$ 0,30, tendremos que representarían un valor en sucres de:

$$2.385.000 \times 0,3 = \$ 715.000,00$$

Estos \$ 715.000,00 que es el equivalente en dinero de los kilowatios-hora que se dejan de generar representan por lo tanto una pérdida, considerable desde luego, para la Empresa Explotadora de la Planta y esta pérdida es una pérdida anual **producida** por las pérdidas de altura debido al rozamiento o fricción en la tubería de presión por adoptar el llamado diámetro económico.

Y se hacemos una comparación de lo que se ahorra en su-
ces en el peso de la tubería de diámetro económico y la tu-
bería de diámetro mayor, a razón de \$ 6.000,00 la tonelada
de hierro de tubería de presión, que es a lo que se compu-
ta actualmente en el mercado internacional, tendremos que:

G_t con diámetro de 0,92 mtrs. = 296,58 Ton.

G_t con diámetro de 0,73 mtrs. = 184,00 Ton.

Valor total a \$ 6.000,00 cada tonelada para diámetro 0,92 mtrs
\$ 1'779.480,00

Valor total a \$ 6.000,00 cada tonelada para diámetro 0,73 mtrs
\$ 1'104.000,00

Luego hay un ahorro de:

\$ 1'779.000,00
- \$ 1'104.000,00
\$ 675.000,00

Son \$ 675.000,00 los que se ahorrarían en el costo inicial de la instalación de la tubería de diámetro económico en lugar de la tubería de diámetro aceptado de 0,92 mtrs.

Ahora bien, hemos establecido que en un año de funcionamien-
to de la Planta se pierden \$ 715.000,00 por kilowatios-hora
no generados, de tal manera que se puede apreciar, que la pér-
dida en un año es mayor en \$ 40.000,00 a lo que se puede ahorrar
en el costo inicial de la instalación.

De esta comparación simple se deduce que es al contrario de
ser un diámetro económico, el de 0,73 mtrs. un diámetro antieco-
nómico, máxime si se tiene en cuenta que son años y años de ge-
neración de energía que se va a dejar de generar esa cantidad de
kilowatios-hora y que representan pérdidas anuales que se acumu-

llegando inclusive con el transcurso de los años a pro-
r una desfinanciación de la Empresa Explotadora de la Ins-
ción.

Además de este aspecto económico tratado, tenemos otro
cte por el cual no se ha aplicado al cálculo del Proyec-
a fórmula del diámetro económico, y que consiste en que
nalizamos la fórmula completa que da el verdadero diáme-
económico, y que a continuación se explica detalladamente,
s que en ella entran una serie de factores que difícilmen-
e los puede aplicar dos veces para un mismo cálculo, ya que
os de ellos varían de un lugar a otro, de una instalación
ra, tanto por las condiciones económicas del País, como
las fluctuaciones de precios de materiales en el mercado.
rnacional.

La fórmula completa para el cálculo del diámetro econó-
es la siguiente:

$$D_e = \sqrt[7]{\frac{101,3 \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \sigma \times w_1 \times (t_1 \cdot Q_1^3 + t_2 \cdot Q_2^3 + \dots)}{(1 + \frac{p}{100}) \times \gamma \times k^2 \times H \times w_2}}$$

fórmula es según Ludin, y en la cual tenemos que cada
ino significa:

- diámetro interior económico, dado en metros
- eficiencia de la turbina, en nuestro caso 0,90
- eficiencia del generador, en nuestro caso 0,95
- la relación de la bondad de la costura por soldadura
o de la costura por remache de la tubería (de 0,7 a 0,9)
- carga admisible del material de la tubería, dado en
toneladas por metro cuadrado
- valor medio de un hilowatio-hora en los bornes del gene-
rador, en nuestro caso \$ 0,30
- número de horas de servicio de las máquinas con caudales
Q₁ Q₂
- t₁, t₂ = número de horas de servicio en el año
- ... = caudal en metros cúbicos por segundo
- suma porcentual del peso de la tubería, de las bridas,
enchufes, piezas de juntas de expansión etc. (General-
mente se toma como p= 10)

γ = peso específico del material de la tubería de presión,
para nuestro caso: 7,5

k = coeficiente de Chezy, el cual se explicará más adelante.

H = presión total (presión estática y presión dinámica, dada en metros).

w_i = costos anuales de una tonelada de hierro de tubería instalada, (tubería inclusive transporte, montaje y demás construcciones)..

El coeficiente "k" de Chezy viene dado a base de: la fórmula que dice:

$$k = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J} \right) \times \frac{n}{P}}$$

En esta fórmula tenemos que las expresiones significan:

k = coeficiente de Chezy

n = coeficiente de Ganguillet

P = es el radio hidráulico y que a su vez es la relación que existe entre la Sección "S" y el perímetro mojado "R"

J = caída necesaria para vencer la fricción e igual a tangente del ángulo correspondiente, en otras palabras es la gradiente mínima necesaria para vencer el esfuerzo de resistencia presentado por la fricción en el material.

De todas estas consideraciones se deduce el que no es aplicable para un caso práctico como es el presente, esta fórmula para obtener el diámetro económico, quedando pues en que se adopta el diámetro calculado primeramente y cuyo valor es de 0,92 mtrs. como diámetro interior de la tubería de presión para nuestra instalación.

álculo del generador:

Hemos quedado que es necesario instalar como cosa inmediata, dos grupos generadores servidos o accionados por dos turbinas de las características y especificaciones ya detalladas con anterioridad y bajo condiciones de funcionamiento, sino las óptimas, pero al menos muy cerca de los valores ideales. Estas turbinas van a estar alimentadas por una sola tubería de presión con un caudal de dos metros cúbicos por segundo.

Estos dos grupos generadores van a ser de una potencia igual a 3.272 Kw. como también ya se determinó anteriormente para cada uno o sea 6.544 Kw. entre los dos grupos; viene en consecuencia el cálculo del tipo de generador, con sus características más sobresalientes, tanto mecánicas como eléctricas.

En primer término tenemos que la energía o potencia a generarse es de 3.272 Kw. para cada grupo y si nos imponemos un factor de potencia de 0,8, que es el más usado y estandarizado para esta clase de instalaciones en el mundo entero; demos a base de estos datos obtener la potencia en kilovolts-ampios que va a tener el generador (KVA).

Antes de continuar adelante con el cálculo del generador mismo, vamos a explicar algo sobre el denominado factor de potencia o coseno ϕ de 0,8.

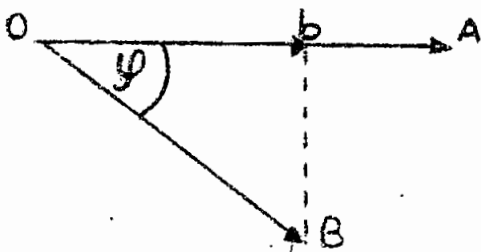
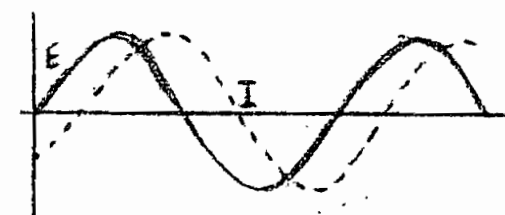
Factor de Potencia:

Se denomina factor de potencia o como ordinariamente se le conoce como coseno ϕ , a la relación que hay entre la potencia real y la potencia aparente, y este valor del factor de potencia es siempre menor que la unidad.

En otras palabras: el coseno ϕ o factor de potencia representa el valor del coseno del ángulo bajo el cual están defasadas la tensión E y la corriente I , debido a que el circuito está formado por resistencias óhmicas puras, en cuyo caso el valor del factor de potencia sería de 1 por cuanto el ángulo de desfase sería cero o sea que estarían en fase la tensión y la corriente.

En otras palabras y en la práctica el circuito consumidor de la energía generada tiene conectadas una serie de impedancias, que producen una autoinducción, lo que ocurre siempre que dicho circuito conste de bobinas (como en el caso de cualquier motor eléctrico), y entonces la fuerza electromotriz (f.e.m.) y la intensidad no pasan por el valor cero en el mismo instante, no estando por lo tanto en fase estas dos magnitudes.

Para mejor explicación de este punto del factor de potencia, nos referimos al gráfico siguiente:



este gráfico lo representamos por vectores:

El vector OA representa la tensión E y el vector OB representa la intensidad o corriente defasada con respecto a la tensión en un ángulo ϕ

Al proyectar OB sobre OA obtenemos el valor "Ob" del vector y este nuevo vector "Ob" por relación vale:

$$Ob = OB \times \cos \phi$$

Y sabemos que la potencia P vale:

$$P = E \times I$$

luego: $P = OA \times Ob$

pero como el valor de Ob es igual a: $OB \times \cos \phi$

entonces la potencia P valdrá según esto:

$$P = OA \times OB \times \cos \phi ; \text{ o sea}$$

$$OA \times Ob = OA \times OB \times \cos \phi ; \text{ es decir que:}$$

$$P = E \times I \times \cos \phi$$

Volviendo al cálculo de nuestro generador tenemos que:

$$KVA = \frac{KW}{\cos \varphi} ; \text{reemplazando los valores}$$

conocidos tenemos:

$$KVA = \frac{3272}{0,8} = 4.090 \text{ KVA}$$

El rendimiento del generador hemos fijado que debe ser de un 0.95, que es un valor aceptable para un generador relativamente grande como es éste y una vez obtenida la potencia en KVA del generador podemos ya calcular la corriente que va a tener este generador.

Para poder calcular la corriente "I" de este generador, tenemos que conocer el voltaje o tensión del generador, la misma que nos imponemos.

Primeramente tenemos que las tensiones standarizadas para nosotros son:

en baja tensión: 110 V, 115 V, 127 V, 220 V, 330 V,

en alta tensión: 4160 V, 6300 V, 13.000 V, 22.000 V etc.

Ensayemos primeramente con una baja tensión digamos de 220 V. para ver que valor obtenemos para la corriente:

1er. caso:

con 220 V. de tensión:

$$I = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times E} ; \text{reemplazando los valores tenemos:}$$

$$I = \frac{4090000}{\sqrt{3} \times 220} = 10.070 \text{ Amperios}$$

Este valor representa una corriente de tal amperaje que no se podría trabajar, por cuanto todo el sistema mismo, desde los conductores que serían de una sección tal que no se puede admitir, hasta los interruptores automáticos, switches desconectores, transformadores etc. serían sumamente costosos, de tal manera que tenemos que directamente ir a generar altas tensiones.

2do. caso:

con 4160 V. de tensión:

$$I = \frac{4090000}{\sqrt{3 \times 4160}} = 568 \text{ Amperios}$$

Este sería ya un valor aceptable para el amperaje, pero sin embargo daría secciones de conductor que según las tablas y dependiendo del tipo de aislamiento del conductor, si es que es de papel impregnado, de caucho o en funda de plomo, varían desde las 750 M.C.M. hasta cerca de 500 M.C.M. de tal manera que vamos a probar un último caso con 6300 V.

3er. caso:

con 6300 V. de tensión:

$$I = \frac{4090000}{\sqrt{3 \times 6300}} = 370 \text{ Amperios}$$

Por el amperaje podemos apreciar que esta tensión de 6300 V. es la que más conviene, sin embargo habría que realizar un estudio comparativo entre los costos de los equipos necesarios para una tensión de 4160 V. y los costos de los equipos para 6300 V. para decidir finalmente cuál tensión se debe preferir. Los cables a emplearse con este amperaje tienen secciones que varían según las tablas desde 450 M.C.M. hasta 350 M.C.M. dependiendo como en el caso anterior de la clase de aislamiento del cable y la manera como se lo va a conducir desde los generadores hasta los tableros de control e interruptores automáticos, ya que el aislamiento se hace más perfecto cuando hay por ejemplo humedad o sea que el cable va a ir directamente por el piso de la casa de máquinas, cubierto simplemente por un cajetín de madera, o si es que va a ir en tubos especiales de conducción, llamados "conduit".

Número de pares de polos del generador:

Para llegar a conocer el número de pares de polos que va a tener nuestro generador partimos de la fórmula que dice:

$$f = \frac{p \times n}{60} ; \text{ fórmula en la que se tiene:}$$

f = frecuencia de la corriente o sea el número de períodos que se suceden en un segundo de duración. Las frecuencias más usadas en la práctica industrial son de 25, 50 y 60 ciclos por segundo, siendo la más usada y estandarizada

para toda América la de 60 ciclos por segundo.

p = número de pares de polos que va a tener el generador y que es lo que se tiene que calcular.

n = revoluciones por minuto que da el generador y que por estar acoplado de una manera directa y rígida al eje de la turbina accionante, tiene las mismas revoluciones que ésta o sea de 720 RPM.

De donde tenemos reemplazando en la fórmula correspondiente:

$$60 = \frac{p \times 720}{60} \quad ; \text{ y despejando el valor de "p":}$$

$$p = \frac{60}{12} = 5$$

Luego nuestro generador va a tener 5 pares de polos.

Además cabe anotar que el generador debe ser previsto para resistir la velocidad de embalamiento de la turbina en caso de que se llegue a producir un percance de esta clase.

Como características mecánicas y de montaje del generador, cabe anotarse las siguientes como principales:

Su acoplamiento a la máquina accionadora, en este caso la turbina Pelton ya calculada, debe ser directo y del tipo rígido, esto es que va montado sobre el mismo eje de la turbina, este eje motriz debe ir montado o debe funcionar sobre chumaceras de la aleación denominada magnolia, cuyo sistema de lubricación se hace por medio de aceite a presión por medio de bombas individuales para cada chumacera; el enfriamiento del aceite lubricante de las chumaceras se hace por medio del agua que mueve las turbinas, esto se consigue llevando por tubería conductora del aceite hacia la cámara de descarga de la turbina para su refrigeración.

Para controlar la temperatura de las chumaceras, cosa indispensable para evitar un percance al fundirse por el demasiado calor, es preciso colocar o instalar termómetros de lectura directa en cada una de las chumaceras y además por seguridad del sistema es mejor colocar en cada chumacera un termómetro de mercurio que al calentarse y subir el mercurio su nivel debido a

un aumento de temperatura, hace contacto con una luz o alarma eléctrica situada en el tablero de control de la Planta y por medio de esta señal visible avisa que hay que revisar el sistema de lubricación de la chumacera correspondiente.

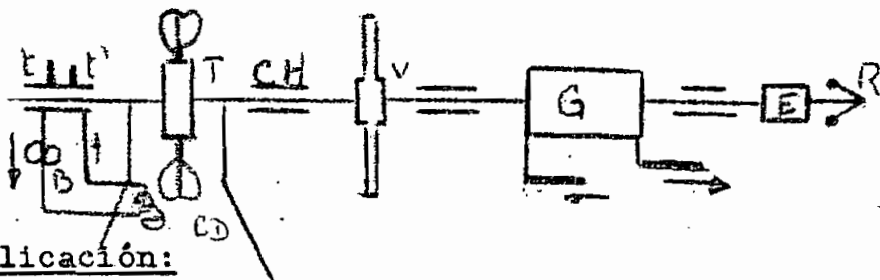
Este sistema de control no es fuerza que sea efectuado por medio de un termómetro de mercurio, sino que puede emplearse cualquier otro método, por ejemplo el de desconexión por un relay de bi-metal, en el que existen dos láminas de metal de diferente coeficiente de dilatación por el calor y que cuando sube la temperatura accionan un switch que tiene su conexión al tablero de control en un tablero especial con placas indiciales para cada una de las chumaceras.

Otro sistema a emplearse también puede ser el mecánico por medio de una varilla de metal que tiene su engranaje con un indicador en un cuadrante, al aumentar la temperatura, hace que la varilla se dilate, accionando el engranaje y marcando la temperatura en el instrumento correspondiente.

En fin hay una serie de sistemas modernos y prácticos que permiten efectuar un control preciso y necesariamente imprescindible sobre el sistema de cojinetes o chumaceras de montaje del eje de la turbina y del generador.

Para dar una mejor explicación de la manera como va a ir montado el generador acoplado a la turbina en su mismo eje y con su excitatriz correspondiente, a continuación va un esquema de conjunto, distinguiéndose algunas formas de montaje.

Primer caso: cuatro chumaceras:



Explicación:

t = termómetro de lectura directa que da la temperatura a la que se encuentra trabajando la chumacera o cojinete, se instala uno en cada chumacera.

- t' = termómetro de mercurio o cualquier otro dispositivo que sirva para controlar por medio de una alarma la temperatura de las chumaceras, hay que instalar una en cada chumacera.
- A = entrada del aceite hacia la bomba de presión.
- B = bomba de aceite que impulsa el aceite hacia las chumaceras.
- CD = cámara de descarga del agua de las turbinas y que sirve para la refrigeración del aceite calentado.
- V = volante de las turbinas.
- CH = chumaceras de aleación magnolia.
- G = generador trifásico de 4090 KVA y de 6300 V.
- E = excitatriz del generador.
- R = interruptor centrifugo que acciona sobre el campo de la excitatriz.
- a = salida del aire caliente de refrigeración del generador en caso de que lo hubiera.
- a' = entrada del aire a presión de refrigeración en caso de que se quiera instalar este dispositivo.

Segundo caso: tres chumaceras:

Las chumaceras van colocadas

en la siguiente disposición:

- la primera en la punta del eje de la turbina
- la segunda en el eje entre el volante y el generador
- la tercera en la punta del eje del generador, antes de la excitatriz.

Los dispositivos de control de temperatura son los mismos que para el caso anterior, para el efecto hay que referirse al esquema, en el que falta por indicarse los siguientes elementos:

- = turbina Pelton de 720 RPM.
- = serpentín del tubo que conduce el aceite caliente y que sirve para que se aumente la superficie de contacto con el agua de refrigeración en la cámara de descarga.

Finalmente, para terminar el cálculo del generador, hay que determinar el tipo de excitatriz que se necesita acoplar para su funcionamiento.

Excitatriz:

La excitación de los generadores o alternadores es un asunto de gran importancia, máxime que si no hay excitación no se llega a conseguir que funcione el generador.

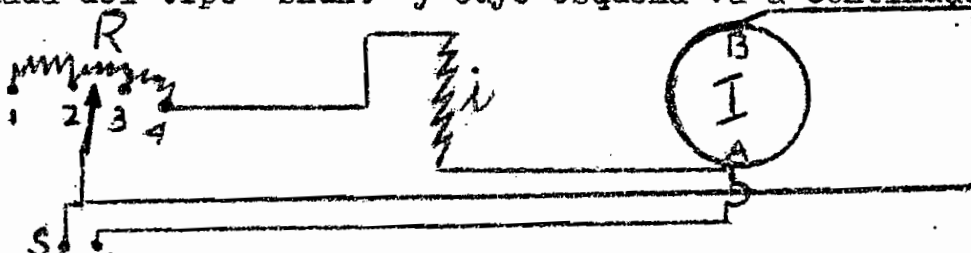
Primeramente antes de entrar en el detalle de la excitatriz adecuada para el tipo de generador elegido, hay que anotar que existen dos clases de acoplamientos de dicho elemento: un acoplamiento directo, cuando la excitatriz se encuentra directamente accionada por el mismo eje del generador y otro el acoplamiento indirecto, cuando el accionamiento de la excitatriz se hace por medio de engranajes, de bandas o de cualquier otro sistema de transmisión.

La excitatriz no es otra cosa que un generador o dínamo de corriente continua, ya que sus elementos principales son un inductor estático y un inducido que gira dentro de este inductor.

La corriente necesaria para excitar los polos del generador ya que la función de la excitatriz es ésta, es conducida por medio de unos anillos conductores denominados escobillas.

La excitatriz generalmente va montada sobre una base de hormigón a continuación del generador.

La excitatriz a usarse en la presente instalación es la denominada del tipo "shunt" y cuyo esquema va a continuación:



Explicación:

R : reóstato de 4 contactos

i ; inductor estático

I : inducido

s : switch al circuito de utilización

A y B : escobillas colectoras de la corriente generada

Esta excitatriz deberá tener una tensión que oscile entre 65 V y 110 V según el manual A.E.G. y para nuestro caso es más conveniente que tenga una tensión igual a 110 V.

Teóricamente la potencia máxima admisible para las excitatrices comunes es de un 3% de la potencia de las máquinas generadoras que van a excitar, es decir que en nuestro caso teniendo una potencia de 3.272 Kw. para el generador la excitatriz deberá tener una potencia igual a:

$$\frac{3272 \times 3}{100} = 98,16 \text{ Kw.}$$

De tal manera que la potencia de nuestra excitatriz deberá ser una admisible de 98,16 Kw. que representa la capacidad de excitación.

Para terminar lo referente al generador hay que anotar que deberá venir especificado para trabajar bajo techo a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar y con un aislamiento especial para soportar las humedades del trópico.

Curvas de rendimiento entre Francis y Pelton:

En el plano

No. 15 b) se ilustran dos curvas que indican el rendimiento de cada una de las turbinas Francis y Pelton, con relación a la carga.

Puede apreciarse que a poca carga, la curva de rendimiento de la turbina Pelton o de chorro libre queda por encima de la curva de rendimiento de la turbina Francis. A más o menos tres cuartos de carga, la relación varía en favor de la turbina Francis.

Reservorio de Regulación diurna:

En el desarrollo del Proyecto "Huapante", se ha previsto la existencia, debido a la necesidad, como más adelante se demostrará, de un reservorio de regulación diurna, que sirva de depósito para acumular durante ciertas horas del día y ciertas horas de la noche, especialmente en las horas de la madrugada, una cantidad tal de metros cúbicos de agua, que sean los que se van a gastar en aquellas horas en las que el consumo de kilowatios sea tal que con los cuatro metros cúbicos por segundo, que es el caudal disponible para la instalación, no se alcance a generar ese número de kilowatios requeridos, y por lo tanto, acumulando agua en un depósito o reservorio, el agua que ciertas horas del día se desperdicia, sea factible cubrir plenamente las necesidades y demanda de los centros consumidores de la ciudad de Ambato.

Desgraciadamente no existe ningún control gráfico por medio de las denominadas curvas de carga o curvas de consumo de la ciudad de Ambato, pero he creído del caso tomar una curva de carga de la ciudad de Quito, proporcionada gentilmente por la Empresa Eléctrica Municipal, curva que corresponde a un día cualquiera de una semana, mes y año tomados al acaso. La curva de carga corresponde a la Central Hidroeléctrica de Guangopolo.

Así por ejemplo y entrando ya al caso concreto, tenemos la curva de carga correspondiente al día Jueves 22 de Octubre de 1953, y al analizar un poco las características de esta curva, tenemos que en el eje de las abscisas va representado el día dividido en sus veinte y cuatro horas, es el eje del tiempo, y en el eje de las ordenadas, van representados de 1000 en 1000 los Kilowatios generados por la Central.

Comenzamos a analizar la curva propiamente, desde la hora cero, que viene a ser las 12 de noche: Estamos en un valor de 4775 Kw. de consumo, a la una de la mañana el consumo baja hasta el valor 4300 Kw.; a las 2 de la madrugada baja a 4100 Kw. y se mantiene más o menos constante este consumo hasta las 4 de la mañana, hora en la que la curva comienza a ascender, por lo tanto a esa hora ya comienza en parte al menos las actividades cotidianas.

A las 5 de la mañana estamos ya en un valor de 4250 Kw. y a las 6 a.m. sube la curva a 4750 Kw. De 6 a 7 de la mañana la curva tiene un ascenso brusco y llega a un valor de 6400 Kw., y este fenómeno es debido a que en esta hora comienza ya a funcionar toda la industria que requiere de electricidad. A las 8 de la mañana estamos con un valor de 7150 Kw. y continua el ascenso hasta llegar a las 11 de la mañana a un valor de 7600 Kw.

Cabe anotar que de 10 de la mañana a 11 de la mañana la curva tiene una parte que se mantiene constante en un valor 7600 Kw. de consumo, esto es debido a que es la hora en la cual se estabilizan los centros consumidores y no entran a funcionar más circuitos de consumo.

De 11 a.m. a 1 p.m. la curva tiene una bajada debido a que es la hora de cierre de las oficinas, almacenes y especialmente porque las industrias paran sus máquinas por la hora del almuerzo, pero desde la 1 $\frac{1}{2}$ p.m. vuelve nuevamente a subir de 6100 Kw. a 6250 Kw. y a las 2 p.m. comienza a subir el consumo hasta llegar a los 8650 Kw. a las 5 p.m.

De 5 p.m. a 5 $\frac{1}{2}$ p.m. hay un pequeño descenso de la curva de alrededor de unos 300 Kw., esto es debido a que es la hora en que se cierran ciertas oficinas y almacenes y que también se paralizan algunas industrias, pero tan pronto como entra a pesar en el sistema el consumo debido al alumbrado público y especialmente doméstico, la curva comienza a subir desde las 6 p.m. hasta alcanzar su valor máximo a las 7 p.m. con 9320 Kw y es la hora a la que se denomina hora "pick", y es la hora en la que la curva de carga ha llegado a obtener su valor de consumo máximo en las veinte y cuatro horas del día, y este valor de 9320 Kw. es el valor que más adelante servirá para determinar el llamado factor de carga. Ventajosamente este valor máximo tiene una duración limitadísima y bruscamente comienza a bajar la curva de carga hasta llegar de nuevo a las 12 de la noche que es cuando se ha terminado el ciclo que se estudia.

El ciclo termina con la curva en un valor de 4860 Kw. que representa el consumo producido por las industrias que trabajan por la noche, como es especialmente la industria textil en nuestro País.

El área considerada o mejor dicho encerrada por la curva de consumo y el eje del tiempo por abajo, representa los kilowatios-hora consumidos en las veinte y cuatro horas del día y que en el caso de la curva analizada representa un valor de alrededor de 155.400 Kwh.

De los datos ya obtenidos y conocidos de los kilowatios máximos generados de 9320 Kw. y de los kilowatios-hora consumidos en el día, podemos obtener el llamado factor de carga o factor de consumo y que se llega a determinar a base de la fórmula que dice:

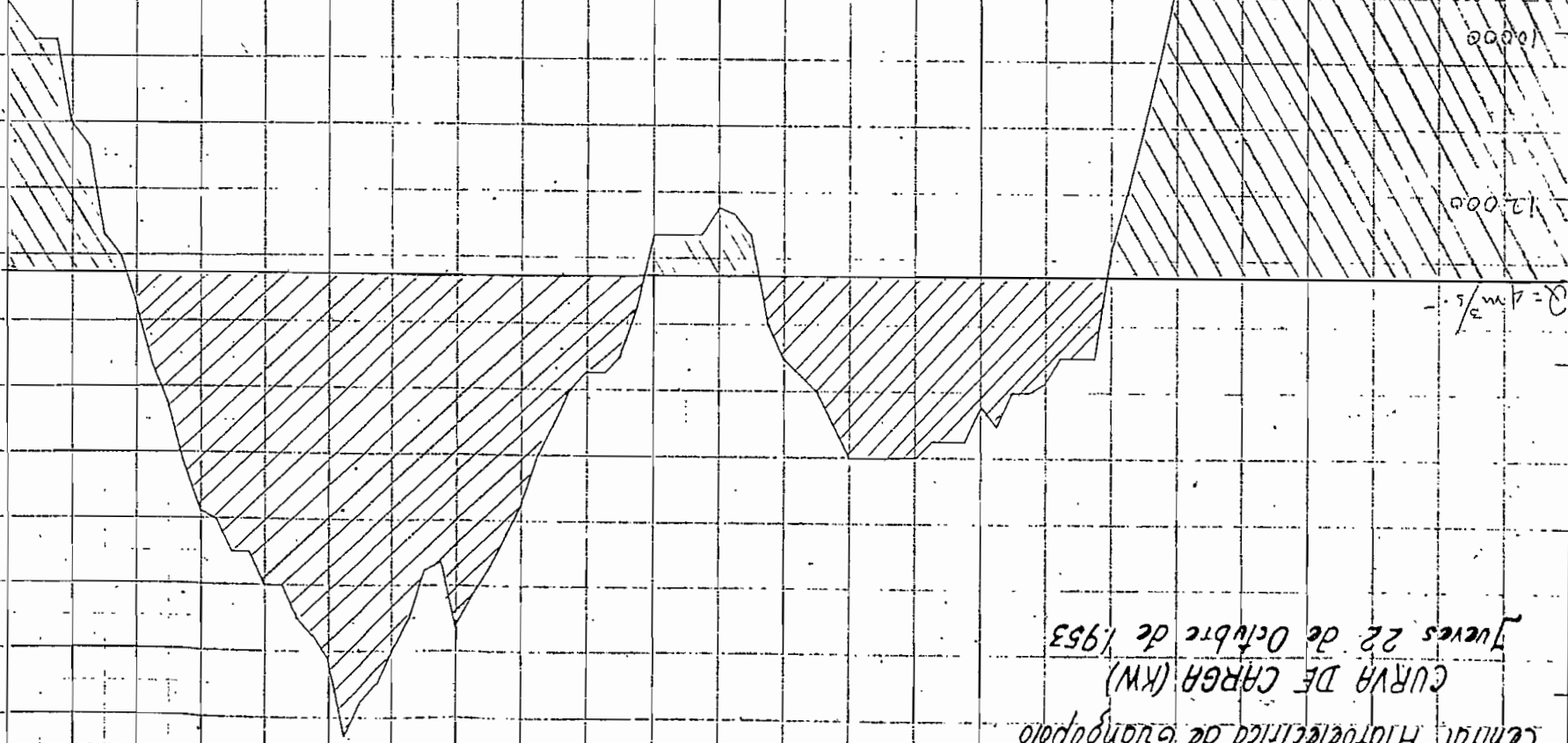
$$f_c = \frac{\text{Kilowatios-hora consumidos}}{\text{Kilowatios máximos generados} \times 24}$$

Reemplazando en esta fórmula los valores conocidos tenemos:

$$f_c = \frac{155.400}{9320 \times 24} = 0,695$$

Este valor de 0,695 es el que representa el llamado factor de carga o de consumo y es con el que ha trabajado durante el día Jueves 22 de Octubre de 1953 la Central Hidroeléctrica de Guangopolo; esta cifra 0,695 está dando a la vez el índice del aprovechamiento de la central generadora y que para el presente caso puede considerarse como un índice de valor bastante bueno, y que en la realidad no llega a pasar a veces de 0,5 a 0,55 por cuanto en la actualidad el consumo de energía se halla sumamente restringido y la Empresa Eléctrica Municipal determina y controla ciertas horas del día y ciertas horas de la noche en las cuales pueden trabajar o dejan de trabajar ciertas industrias, por esta razón es por la que el factor de carga o de consumo ha sido de un valor bastante alto de 0,695.

Trasladando estas consideraciones hechas para la curva de la ciudad de Quito a nuestro Proyecto "Huapante" para la ciudad de Ambato, adoptamos las mismas características, valores y clases de consumo y además sabemos que el caudal disponible con el que se va a trabajar en Huapante es el de 4 metros cúbicos por segundo, volviendo a la curva de carga, trazamos una línea paralela al eje del tiempo a un valor exactamente que represente el 0,695 de los kilowatios máximos generados



KILOWATIOS

2.000
4.000
5.000
6.000
7.000
8.000
9.000

Central Hidroeléctrica de Guampopolo
CURVA DE CARGA (KW)
Jueves 22 de Octubre de 1953

$Q = 4 \frac{m^3}{s}$

los mismos que se van a determinar a base del factor de carga ya conocido y que lo adoptamos para nuestro cálculo y a base de los kilowatios que se van a generar con 4 metros cúbicos a base de la caída y rendimientos de turbina y generador ya impuestos y que en números son 13,089 Kw.

Los kilowatios máximos a generarse se obtiene de la fórmula que dice:

$$Kw_m = \frac{Kw}{f_c}$$
; lo cual reemplazando tenemos que:

$$Kw_m = \frac{13089}{0,695} = 18.334 \text{ Kw.}$$

Luego son 18.334 Kw. los que van a ser generados en la hora de pick.

Del trazo de la línea paralela al eje del tiempo a 0,695 de los 18.334 Kw. de hora de pick se puede deducir que es el valor de 13089 Kw. el que se tiene en el eje de los kilowatios y estos 13089 Kw. se generan en las condiciones ya estipuladas con un caudal de 4 metros cúbicos por segundo.

La línea paralela de los cuatro metros cúbicos por segundo, corta a la curva en cuatro puntos, quedando un área (la achurada con lápiz) por debajo de esta línea y otra área (la achurada con tinta) por encima de esta línea.

Estas dos áreas achuradas son exactamente iguales y cada una tiene su significado:

El área achurada con lápiz representa la cantidad de metros cúbicos que hay que almacenar para gastarlos en las horas de mayor consumo y que a su vez están representadas por el área achurada con tinta, y el total de metros cúbicos que tenemos que almacenar en las horas de menor consumo para gastarlos en las horas de mayor consumo, nos está dando el valor de nuestro reservorio de regulación diurna o sea su capacidad en metros cúbicos.

Este almacenamiento de agua a gastarse en el tiempo y horas que se requiera va a realizarse durante las siguientes horas:

de 11 de la noche a 6 de la mañana y de 12½ del día a

de la tarde, lo que en total viene a dar unas 8 y media horas.

En este lapso de tiempo de 8 y media horas, la Planta por tanto no requiere de los 4 metros cúbicos por segundo, va a bajar con menos caudal, quedando el exceso para almacenar en el reservorio.

Las dos áreas achuradas representan por separado cada una unos 32.000 Kwh y hemos dicho que las dos áreas son exactamente iguales, o sea que se encuentran las dos áreas equiparadas o compensadas, por lo tanto el agua que se acumula en el reservorio durante las horas determinadas, sirve para usarla en las otras horas también determinadas de mayor consumo.

Para el cálculo de los metros cúbicos que hay que almacenar o en otros términos para el cálculo de la capacidad en metros cúbicos del reservorio, tenemos que partir de las siguientes consideraciones:

Sabemos que en las condiciones ya estipuladas de caída neta de 390 mtrs. con los rendimientos prescritos de 0,90 para la turbina y de 0,95 para el generador de cada uno de los grupos con un caudal constante disponible de 4 metros cúbicos por segundo se puede llegar a generar 13.089 Kw. y para establecer una relación que nos permita llegar a donde queremos, veamos con cuántos metros cúbicos se pueden generar 1000 Kw. en las mismas condiciones, o en otros términos, calculemos el caudal de agua que se requiere para generar los 1000 Kw. De donde puede establecer que:

Con 4 metros cúbicos por segundo se generan..... 13089 Kw.
Con X metros cúbicos por segundo se generarán... 1000 Kw.

donde X valdrá:

$$X = \frac{4000 \text{ ltrs.}}{13089 \text{ Kw.}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ó } 300 \text{ ltrs/s.}$$

lo que vamos a allegar es a ver cuántos metros cúbicos se necesitan para generar 1000 Kwh, multiplicamos por 3600 segundos que tiene la hora y así tenemos que los 1000 Kwh requeridos:

$$0,3 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 = 1080 \text{ metros cúbicos.}$$

Ahora bien, para llegar a generar los 32.000 Kwh que son los que representan cada una de las áreas achuradas, se necesitarán:

con 1089 metros cúbicos se generan..... 1000 Kwh
con X metros cúbicos se generarán.....32000 Kwh.

De donde el valor de X será:

$$X = \frac{1089 \times 32000}{1000} = 34.848 \text{ m}^3$$

Luego el reservorio de regulación diurna para nuestro Proyecto "Huapante" va a tener una capacidad de 34.848 metros cúbicos que son los que se van a necesitar almacenar para poder suplir las necesidades de consumo por parte de los centros consumidores de la ciudad de Ambato.

Luego viene el cálculo del tiempo necesario que hay que almacenar el agua y también hay que determinar cuántos metros cúbicos se van almacenar, durante este tiempo.

Si tenemos un caudal constante disponible de 4 metros cúbicos por segundo en una hora representarán 3600 veces más o sea:

$$4 \times 3600 = 14.400 \text{ m}^3$$

Esto si se almacenarían los 4 metros cúbicos disponibles, pero como no hay como parar la planta, hay que destinar una parte a esta reserva, digamos un metro cúbico durante una hora, representaría:

$1 \times 3600 = 3600 \text{ m}^3$; pero como las necesidades son de almacenar 34.848 metros cúbicos tendremos que este metro cúbico almacenarlo durante un tiempo igual a:

$$\frac{34.848}{3600} = 9 \text{ horas y media aproximadamente.}$$

Así que hay que almacenar un metro cúbico de agua durante 9 horas y media para tener la capacidad o volumen de agua necesario para poder suplir las necesidades de consumo.

El reservorio como se deduce del cálculo y consideraciones anteriores va a construirse a partir del año en el que se halle instalada la potencia total del Proyecto, puesto que antes no haría falta almacenar agua por que hay un exceso.

CENTRAL ELECTRICA:

Para las conexiones, instrumentos y aparatos relativos a lo que constituye la central eléctrica propiamente tal, hay que referirse al plano No. 21, en el cual están indicados los elementos componentes, con su descripción correspondiente.

La central eléctrica propiamente tal tiene como elementos principales a los generadores o alternadores (1), luego a los transformadores de elevación (4), los primeros ubicados dentro del edificio de la casa de máquinas y los segundos situados fuera de ella en el llamado castillo de distribución, en la instalación a la intemperie, como se ilustra en el plano No. 20.

A continuación va la descripción y características de cada uno de los elementos signados con números en el plano No. 21

1) Generadores o alternadores:

Los alternadores o generadores que se han previsto, dos para instalación inmediata, accionados por respectivas turbinas del tipo Pelton y acoplados de una manera rígida al eje de dichas turbinas, tienen las siguientes características, como ya se determinó en el acápite correspondiente al cálculo de los generadores, pero que se va a volver a repetir, por guardar un orden estricto en la descripción:

Potencia de cada generador: 4090 KVA
Tensión nominal: 6300 V. a la salida
Densidad o amperaje nominal: 370 Amps.

Frecuencia: 60 ciclos por segundo
Factor de potencia o coseno ϕ : 0,8
Revoluciones por minuto: 720 RPM.

Provistos para trabajar bajo techo, con un sistema de aire acondicionado para refrigeración, aislamientos para climas tropicales y para trabajo a 3000 metros de altura sobre el nivel del mar.

Los alternadores en mención son previstos para producir potencia en kilowatios de 3272 Kw. cada uno o sea 6544 Kw. Entre los dos y su conexión va a ser en el sistema en paralelo y para poder realizar esta interconexión de estas dos máquinas, es indispensable que se cumplan las siguientes

condiciones:

- 1o.- Tienen que tener los dos generadores una tensión o voltaje iguales.
- 2o.- Tienen que tener una frecuencia igual, y que en este caso debe ser la determinada de 60 ciclos/segundo.
- 3o.- Tienen que tener igual secuencia de fases, o sea que cada una de las tres fases, porque el alternador es trifásico, coincidan en el mismo punto, o sea que la fase R del generador del grupo I coincida con la fase R del generador del grupo II y así sucesivamente las otras dos fases S y T.

Para la comprobación de la primera condición o sea la de que deben tener un mismo voltaje o tensión, hay que conectar un voltímetro de doble escala, signado en el esquema correspondiente con el número (21).

Para la comprobación de la segunda condición o sea la de que deben tener igual frecuencia de 60 ciclos por segundo, se tiene el aparato signado con el número (20) y que es el denominado frecuencímetro.

Y por último para comprobar que se cumpla la tercera condición para la interconexión en paralelo de los dos generadores se tiene el indicador de secuencia de fases y que va signado con el número (19) y que técnicamente se denomina sincronoscopio.

De tal manera que para poder realizar la conexión en paralelo de los dos alternadores o generadores, tienen que cumplirse las tres condiciones expuestas, las mismas que son controladas de un modo visual en los tres instrumentos indicadores: voltímetro de doble escala, frecuencímetro y sincronoscopio, de los que se tratará en párrafos más adelante.

La igualdad de frecuencia y la secuencia de fases se consigue regulando la velocidad de las máquinas generadoras o lo que es lo mismo en nuestro caso de acoplamiento rígido, regulando la velocidad de las máquinas accionadoras o turbinas. Esta velocidad se controla directamente por un tacómetro o cuenta-revoluciones acoplado o montado directamente en el eje de la turbina

Este control se efectúa de una manera indirecta por estos aparatos de registro, ya que si no hay igualdad de fase o no hay igualdad de frecuencia, quiere decir que las turbinas están marchando a velocidades desiguales.

Excitatriz:

Es el elemento que actúa directamente sobre el alternador y gracias al cual el alternador o generador, genera su corriente.

Su cálculo y determinación de características, se efectúan en párrafos anteriores en junta del cálculo del generador.

Sin embargo cabe anotar las siguientes características además de las ya señaladas:

La excitación de los generadores va a ser por medio de una excitatriz directamente acoplada al eje del generador; de tal modo que al ordenar la maquinaria a la casa proveedora, hay que señalar este detalle de la forma de acoplamiento de la excitatriz.

En una excitatriz deben considerarse los siguientes elementos, como en un dinamo o generador pero de corriente continua:

Un inducido que gira dentro de un inductor estático, o sea el inducido es el rotor y el inductor es el estator en un dinamo o generador; la corriente generada al cortar líneas magnéticas por el giro del rotor o inducido dentro del estator, es recogida por las escobillas que están en contacto directo con el colector del rotor, y esta corriente es la que sirve para excitar los polos del generador o alternador.

Como un elemento que ejerce su influencia sobre la excitatriz del generador, se tiene la resistencia de desexcitación signada con el número (3)

Resistencia de desexcitación:

Su función la ejerce directamente sobre la excitatriz del generador y consiste en que como está intercalada entre la excitatriz y el alternador, en el mismo momento de excitación, suple una posible falla de los interruptores de corriente máxima puesto que estos interruptores lo que

hacen es proteger a los generadores contra un cortocircuito pero no desconectan cuando se produce una falla en el sistema interno del generador mismo, por ejemplo un cortocircuito entre las bobinas internas del generador, es cuando el desexcitador o resistencia de desitación entra a funcionar debilitando la corriente de cortocircuito del alternador, para impedir en esta forma su deterioro parcial o completo en muchos de los casos de esta clase de fallas internas del aislamiento.

(4) El reóstato:

El reóstato es un elemento componente de la excitatriz y que se encuentra intercalado en serie en el circuito inductor y consiste en un conjunto de resistencias, las cuales se ponen en contacto o se desconectan por medio de un sistema giratorio, accionado por un volante y según se conecten o desconecten el número de resistencias intercaladas, se disminuye o se aumenta la corriente de excitación.

Así que este reóstato es parte integrante de la excitatriz y entra a funcionar operado manualmente en dos sentidos: cuando aumenta la carga hay que aumentar la corriente de excitación o sea que hay que disminuir las resistencias intercaladas en el circuito y cuando disminuye la carga hay que realizar la operación inversa o sea disminuir la corriente de excitación aumentando las resistencias intercaladas en el circuito de excitación. Actualmente hay sistemas más modernos que permiten que esta regulación del movimiento del reóstato se haga automáticamente. Para efectos de esta regulación automática, se tiene el denominado por ejemplo regulador automático de tensión, el mismo que se describirá a su tiempo.

(5) Inversos unipolar:

Consiste esencialmente en un interruptor que tiene el nombre de unipolar porque permite el paso de la corriente en un sentido o en otro sentido aisladamente, y en el esquema correspondiente puede apreciarse que tiene dos funciones: una es que accione sólo el reóstato (4) o sólo accione el interruptor automático del regulador de tensión (7) para que se verifiquen las funciones ya descritas de estos dos elementos.

Regulador automático de tensión:

El regulador automático de tensión es el aparato que actúa sobre el reóstato (4) cuando su regulación no se la efectúa manualmente.

Este regulador automático puede ser de uno de los tipos generales como el llamado Tirril para corriente alterna, cuyo funcionamiento es totalmente eléctrico; o puede ser del tipo conmutación directa por división de tensiones.

Estos son hasta este punto los instrumentos y aparatos que tienen íntima relación con los generadores y que constituyen el circuito de excitación, quedando por describir más adelante los instrumentos de medida que se intercalan en el circuito y sus nombres: amperímetro, voltímetro, watímetro, medidor de vatios-
cosenos, medidor de coseno fi.

Transformador trifásico:

Viene ahora como segundo elemento de importancia, el transformador trifásico que es de elevación de la tensión que sale del generador de 6300 V. a la tensión de transporte a la ciudad de Ambato y que puede ser de 33 KV.

Este transformador trifásico, uno para cada grupo generador, está ubicado en la instalación a la intemperie como se ilustra en el plano No. 20 y cuyas características son:

Transformador trifásico para 4090 KVA y para una tensión de entrada en el primario de 6300 V. y de salida al secundario de 33000 Voltios, con una relación de transformación por lo tanto de 6,3 a 33.

Su conexión va a ser al igual que los generadores en el sistema en paralelo y teniéndose en cuenta que su conexión va a ser delta/estrella.

Los transformadores van a ser de los en baño de aceite, es decir, a que su refrigeración se efectúa por medio de aceite, y aislados para trabajar a la intemperie, con aislamientos para climas tropicales, y para trabajar a 3000 metros de altura sobre el nivel del mar. Deberán venir provistos de tanques individuales para cada transformador, para el aceite de refrigeración y con dispositivos indicadores del nivel de aceite y termómetro para controlar su temperatura.

Los transformadores deben ser para trabajar con corriente de 60 ciclos por segundo y deben traer dispositivos protectores contra sobretensiones, sobreintensidades, sobretemperaturas y para deficiencias de aislamiento.

(9) Transformador para el servicio auxiliar:

Es un transformador trifásico, que como su nombre lo indica, su función va a ser servir en el sistema auxiliar de la planta y el cual se describirá en su acápite correspondiente.

Este transformador va conectado directamente a la barras colectoras generales (ver plano No. 21) y las relaciones de transformación van a ser: 33000V/220V/120V/, teniendo en cuenta que esta doble baja tensión se va a obtener conectando en el secundario entre dos fases para obtener los 220 V. y entre una fase y el neutro para obtener los 120 V.

Va a estar conectado en el sistema delta/estrella y su potencia se determinará a base de la determinación de las cargas que van a conectarse en el circuito.

Sin embargo para tener una capacidad nominal inmediata puede tomarse por normas de instalación que este transformador auxiliar debe tener una capacidad nominal igual a un 10% de la potencia del generador o sea que deberá ser de 409 KVA. puesto que el generador tiene una potencia de 4090 KVA.

Va a ser un transformador del tipo enfriado por baño de aceite y va a ser especificado para trabajar bajo techo con una corriente de 60 ciclos por segundo de frecuencia y va a tener al igual que los transformadores mayores de elevación, dispositivos de protección contra sobretensiones, sobreintensidades y sobretemperaturas, aislamientos para climas tropicales y para trabajar a 3000 mtrs. de altura sobre el nivel del mar.

(6) Interruptor automático:

Tratándose ya de tensiones superiores a los 1500 voltios, no es posible cortar un circuito con simples interruptores o seccionadores de cuchillas y accionados a mano, debido al arco que se forma al cortar una corriente

de cortocircuito de valores de cientos y de miles de amperios, de tal manera que es necesario instalar interruptores automáticos comandados por relays, sean éstos accionados por una fuerza auxiliar de corriente, como es el caso de la instalación que nos interesa, o bien sean accionados por otro mecanismo como por ejemplo por aire comprimido, sólo que en este caso es necesario contar con una fuente que provea de aire comprimido por medio de un compresor, lo cual ya constituye por sí sola una instalación aparte y que requiere de sus elementos específicos que vendrían a encarecer el costo de la obra.

El tipo de interruptor automático a instalarse va a ser el llamado en baño de aceite, o sea que el arco producido al desconectar el cortocircuito producido por cualquier razón de una falla en el sistema, va a extinguirse dentro de una masa o volumen de aceite, en la que se encuentran sumergidos los contactos del interruptor automático.

Los tiempos de interrupción que demoran en operar los relays que comandan estos interruptores automáticos, van de acuerdo a las especificaciones que se señalan para los mismos, y así se tiene interruptores automáticos de valores distintos de acuerdo a su tiempo de desconexión y que generalmente tratan de cortar el cortocircuito entre el tercero y octavo ciclo a contar desde el instante de iniciación de la falla. Hay que tener en cuenta que mientras más rápido opera un interruptor, es mayor la corriente de cortocircuito que tiene que cortar, razón por la cual la calidad de esta clase de interruptores rápidos, es mejor que los que operan en tiempos normales, y su desgaste de contactos también es mayor, por lo que cuestan un poco más.

El interruptor automático tiene que ser calculado o pedirse a la casa proveedora para una potencia nominal de interrupción, esta capacidad de interrupción del automático puede ser igual o mayor que la corriente de cortocircuito al momento de separarse los contactos. Los factores de multiplicación dependen de la velocidad con que opera el automático y así se tienen los siguientes factores por los cuales hay que multiplicar la corriente cortocircuito para obtener la capacidad de interrupción del automático:

Tiempo de operación (velocidad)	Factor de multiplicación
8 ciclos/segundo	1,00
5 ciclos/segundo	1,10
3 ciclos/segundo	1,20
2 ciclos/segundo	1,40

Cálculo de la corriente de cortocircuito y capacidad de interrupción del automático:

En la suposición

de que la falla o punto de cortocircuito se ha localizado en la barras colectoras de alta tensión, tenemos que suponer además que reactancia X en los cables conductores hasta el interruptor automático es nula, se tienen los siguientes datos para poder realizar cálculo correspondiente.-(Vamos a calcular para un solo interruptor automático).

Potencia del generador: 4.090 KVA

Tensión a la salida del generador: 6300 V.

Luego la corriente nominal de cada generador va a ser de:

$$I_n = \frac{\text{KVA}}{1,71 \times \text{KV}}; \text{reemplazando tenemos:}$$

$$I_n = \frac{4090 \times 1000}{1,71 \times 6300} = 370 \text{ Amps.}, \text{ valor de la corriente que ya se deter}$$

Potencia del transformador de elevación: 4090 KVA.

Reactancia de cada alternador en porcentos = 6%; y la reactancia del transformador se supone que es un 15% de la reactancia total

Vamos a proceder al cálculo de las impedancias en base de 33 KV:

$$Z_g = \frac{E^2}{X_g \times P_t} \times 1000; \text{ fórmula que permite calc}$$

la impedancia de los generadores y en la cual se tiene que:

Z_g = impedancia de los generadores a determinarse

E = tensión base de 33 KV.

P_t = potencia total de los generadores : 4090 x 2 = 8.180 KVA.

= reactancia de los dos generadores = 12%

Reemplazando estos valores conocidos en la fórmula tenemos:

$$Z_g = \frac{33 \times 33}{12 \times 8180} \times 1000 = 11,2$$

Reactancia de los transformadores es de 15% de la reactancia total de 100%:

$$Z_{tr} = \frac{E^2}{X_{tr} \times P_t} \times 1000; \text{ fórmula en la que:}$$

Z_{tr} = impedancia de los transformadores a determinarse,

E = tensión base de 33 KV

P_t = potencia total de los generadores: 8180 KVA

X_{tr} = reactancia de los transformadores: 15%. Reemplazando tenemos que:

$$Z_{tr} = \frac{33 \times 33}{15 \times 8180} \times 1000 = 8$$

Entonces la impedancia total será de:

$$Z_t = Z_g + Z_{tr} = 11,2 + 8 = 19,2$$

La corriente de cortocircuito será igual a:

$$I_{c.cir.} = \frac{KV}{1,71 \times Z_t}; \text{ reemplazamos los}$$

valores y tenemos:

$$I_{c.cir.} = \frac{33 \times 1000}{1,71 \times 19,2} = 1000 \text{ Amps.}$$

Entonces la capacidad de los automáticos va a ser para interrumpir corrientes de 1000 Amps. que son las que se presentan en caso de un cortocircuito en el sistema, y si suponemos que nuestros automáticos van a ser de los que operan en 2 ciclos/segundo, el factor de multiplicación es 1,40 en cuyo caso van a ser para:

$1.000 \times 1,40 = 1400$ Amps. que es un valor admisible y que se halla determinado dentro de las normas y valores admisibles según la tabla No. 3 pág. 305 del Manual de la AEG.

Los interruptores automáticos signados como (23) y (24) van a ser de las características del que se ha descrito en los párrafos que anteceden, sujetándose cada uno a la clase y tipo de circuito al que está conectado, siendo por lo tanto diferente la clase de cortocircuitos que tiene que controlar, y el cálculo va a ser similar al efectuado, pero considerando los valores de tensiones, impedancias y reactivas correspondientes.

(10) Relay unipolar:

Es un relay unipolar a tensión máxima y es el encargado de efectuar la interrupción del circuito cuando se produce una falla en el sistema que trae como consecuencia la elevación del voltaje.

Este relay a tensión máxima es un aparato que en sustancia es similar al relay de corriente máxima que opera el interruptor automático ya descrito y cuyo accionamiento u operación se efectúa con un valor de tensión llamado máximo o tensión de cortocircuito y dentro de tiempos de operación especificados.

(11) Amperímetro:

Este amperímetro va conectado a cada una de las fases del generador o sea que hay uno por fase, o simplemente se puede poner un solo amperímetro con un conmutador para seleccionar cada una de las fases, y la corriente que manda a estos amperímetros o a este amperímetro en el caso de ser uno solo, es corriente alterna obtenida directamente de la línea por medio de transformadores de corriente o de intensidad, conectados como puede apreciarse en el plano No. 21.

Estos transformadores de corriente o de intensidad se los describirá con el número (17), y los amperímetros accionados por esta corriente transformada, están dando la medida de la corriente de los alternadores.

(12) Voltímetro:

Es el instrumento que se conecta en la línea para medir o controlar el voltaje a los bornes del generador. Está conectado a través de un transformador de tensión.

13) Watímetro:

Es el instrumento que mide la potencia constante de cada uno de los generadores, por lo tanto cada generador estará dotado de este instrumento de control en el tablero correspondiente, debe ir conectado a transformadores de tensión de relación 6300 V/110 V. y a transformadores de intensidad o de corriente de relación 370 Amp/5 Amp.

La instalación de los watímetros en el tablero de control de una planta generadora de energía es indispensable puesto que es el aparato que da los valores para las llamadas curvas de carga diarias o diagramas de carga diarios.

14) Medidor de factor de potencia:

El medidor de factor de potencia o medidor de coseno fi como se lo denomina comúnmente, es el que permite controlar con qué factor de potencia se está trabajando.

Cuando se hizo el cálculo de los generadores se detalló lo que significaba el factor de potencia o coseno fi, y el porqué se adoptaba el valor de 0,8.

La conexión del medidor de factor de potencia se hace directamente a la línea por medio de los transformadores de corriente o de intensidad.

15) Medidor de kilowatios-horas:

Es un medidor del tipo que se instalan para el servicio público y es el encargado de registrar los kilowatios-horas generados por la planta, o lo que es lo mismo, registra el consumo que ha habido por parte de la ciudad o centro consumidor que en este caso va a ser la ciudad de Ambato principalmente.

Por medio de este medidor de kilowatios-horas se puede llegar a establecer un control entre los generadores de la planta, o sea los kilowatios-horas generados en la planta y lo recaudado en la ciudad, de acuerdo a las tarifas fijadas para cada clase de consumo. Desde luego que este control va a ser apreciativo y poco exacto ya que no se puede llegar a establecer el consumo de cada clase de consumidor, y además podrá que realizar un cálculo sobre las pérdidas que se producen

a lo largo de la línea de transmisión desde la planta generadora hasta los centros de consumo.

(16) Relay diferencial:

El relay diferencial va conectado según el esquema a transformadores de tensión, entre los bornes del alternador y los bornes de salida del transformador de elevación, pasando a través de un transformador de tensión (25).

Como su nombre lo está indicando, es un relay que opera cuando hay una diferencia sea de valor de corriente o sea de dirección y según esto, cuando por ejemplo cuando hay diferencia de tensión entre la salida del transformador elevador y la salida a los bornes del generador, quiere decir que existe una falla en el circuito, y es entonces cuando se produce la apertura del relay diferencial, puesto que la tensión va a ser diferente en la salida del transformador y en la salida del generador; lo mismo sucede en el caso de la corriente cuando se produce una falla, la tensión y la corriente fluyen hacia el punto de falla y si este relay además de operar como diferencial opera también como direccional, o sea que está conectado para que el flujo pase en un solo sentido, cuando cambia este sentido normal del flujo, el relay desconecta inmediatamente, dejando aislado el circuito del resto en donde se ha producido la falla. Este tipo de relay diferencial y además direccional se emplea mucho y en casi todos los casos en los que se hacen instalaciones de redes de distribución malladas.

Estos relays se clasifican en de alta y en de baja velocidad, o sea que se toma como tiempo de partida de operación desde el momento en que se produce el cortocircuito.

Los relays son de alta velocidad cuando desconectan dentro de un tiempo de hasta $1/20$ de segundo o sea dentro de los tres primeros ciclos en base de corrientes de 60 ciclos de frecuencia que es la nuestra; y son de baja velocidad cuando su operación se hace pasados los $1/20$ de segundo.

(17) Transformadores de intensidad:

Son transformadores denominados como de medida, ya que su función específica es transformar la corriente, reduciéndola en su ~~amperaje~~ amperaje generalmente para comandar los aparatos e instrumentos de medida como son: amperímetros, medidor de coseno fi, watímetros.

Están conectados los primarios de estos transformadores directamente a las líneas de fase del generador, o sea a la ~~corriente~~ corriente nominal del generador, por eso su relación de transformación es de: ~~370/5~~ 370 Amp/5 Amp. o sea que en el primario del transformador la corriente es de 370 Amp. entregando al secundario una corriente de 5 amperios, su relación de transformación es por lo tanto: $370: 5 = 74$

(18) Relay de corriente máxima:

Es un relay de protección contra una posible falla en el sistema que dé como consecuencia una elevación del amperaje y que si no se interrumpe a tiempo el circuito afectado, con la apertura de este relay causaría el deterioro en todo el sistema.

Este relay está graduado o ajustado para operar con una corriente máxima fijada de antemano, y cuando alcanza este valor, opera el relay, desconectando el resto del circuito.

(19) Sincronoscopio:

Quando se trató de la interconexión en paralelo de los generadores, se mencionó el instrumento denominado sincronoscopio, que es el encargado de indicar la igualdad de secuencias de fases, condición indispensable como ya se determinó para que se pueda efectuar esta interconexión en paralelo de los alternadores.

El sincronoscopio es un aparato que funciona por un sistema de inducción, accionado o comandado por los circuitos a interconectarse.

Quando se ha conseguido la igualdad de secuencia de fases entonces una lámpara indicadora se enciende, y el momento de mayor brillo de esta lámpara indica la igualdad de secuencia de fases y por lo tanto se puede efectuar la interconexión.

Puede efectuarse una conexión en la forma inversa de la descrita o sea que mientras no existe la igualdad de secuencia de fases, la lámpara permanece encendida, tan pronto como se ha conseguido esta igualdad de secuencia, se apaga la lámpara, siendo el momento preciso para hacer la interconexión en paralelo de los alternadores.

(20) Frecuencímetro:

También al tratar de la interconexión en paralelo de los alternadores ya se mencionó este instrumento que es esencial para poder controlar el número exacto e igual de períodos en los alternadores, lo cual se llega a conseguir dando a éstos una velocidad sincrónica exactamente igual y que en nuestro caso es de 720 RPM, esta velocidad igual se puede controlar más exactamente y de un modo más directo por medio de los tacómetros o cuenta-revoluciones instalados en el mismo eje de las turbinas, sean éstos acoplados al eje mismo o sean accionados por una banda de transmisión.

(21) Voltímetro de doble escala:

Es el voltímetro que controla la igualdad de tensiones en los alternadores a conectarse en paralelo y este voltímetro da el valor de la tensión en las barras colectoras y la tensión en los bornes del generador.

Es un aparato del cual ya se trató de su uso en el párrafo correspondiente a la interconexión en paralelo de los alternadores.

(22) Fusibles:

Son elementos esenciales de protección para todos los aparatos e instrumentos conectados en el sistema.

Su ubicación se la hace antes de la entrada a un aparato o instrumento para evitar así que por una falla que produce enormes elevaciones de tensión y de amperaje en las líneas, estos aparatos e instrumentos vayan a sufrir estas consecuencias y el consiguiente deterioro.

Hay una clase de fusible para cada necesidad y van calculados para soportar un valor tal de sobretensión que da como consecuencia una elevación de temperatura y según sea el material del que estén hechos o según sea la sección que tengan estos fusibles

se funden, interrumpiendo en esta forma el circuito.

Los fusibles se los construye de plomo, de aluminio o de plata, siendo la temperatura de fusión para el plomo la de apenas 327°C , la del aluminio la de 658°C . y la de la plata a 961°C .

Los elementos signados como (23) y (24) en el plano correspondiente ya fueron descritos en el párrafo respectivo al interruptor automático (6) y lo que se dijo para el interruptor (6) se puede aplicar para estos otros dos automáticos, pero cada uno en su circuito que protege y con sus tensiones y amperajes correspondientes.

(25) Transformador de tensión:

Es un transformador de tensión y que como puede apreciarse en el plano No.21 va conectado a la salida de la alta tensión del transformador de distribución o sea que su relación de transformación va a ser de $33\text{KV a}/220\text{V}$ y luego a 110V y su función es alimentar al relaysdiferencial puede por lo tanto denominarse un transformador de medida si se tiene en cuenta que opera a voltímetros registradores de la diferencia de potencial, medidas de diferencia de potencial pero en las líneas de alta tensión.

(26) Relay de sobretensión:

Es un relay de características similares al descrito bajo el número (10) y cuya función es desconectar el circuito cuando por una falla se produce un aumento de la tensión hasta un valor dado llegado el cual opera el relay de sobretensión, con una cierta tolerancia.

Los aparatos de medida signados como (27) y (30) son como los ya descritos anteriormente, con la diferencia de que éstos van conectados al servicio auxiliar para el control del mismo, tienen por lo tanto funciones idénticas a los anteriores amperímetros y voltímetros, pero cada uno controlando su circuito específico:

(31) Fuente auxiliar de energía:

Es menester en una Central Eléctrica ya de mediana capacidad generadora, como lo es la nuestra, contar con una fuente auxiliar que provea de energía

independiente del resto de fuentes generadoras de energía y que en este caso son los alternadores o generadores.

Esta fuente de energía auxiliar es la que sirve para comandar los relays de los instrumentos de los interruptores automáticos, sistemas de alarma, y para proveer de luz o sea para el alumbrado de la Central a más de otros servicios de emergencia.

La fuente auxiliar de energía consta de una batería de acumuladores, tal que da una tensión de 110 V. de corriente continua, para una línea auxiliar, como puede apreciarse en el esquema del plano No. 21 de la Central.

Esta batería de acumuladores es alimentada por el sistema del circuito auxiliar, constante del transformador para servicio interno, trifásico de relación 33KV/220V/120V, que toma su corriente directamente de las barras colectoras generales y que entrega su corriente transformada al circuito auxiliar; esta tensión de 220V/120V. es la que entra al rectificador de corriente que va a entregar corriente continua para alimentar la batería de acumuladores.

Este rectificador puede ser de cualquiera de los tipos descritos e ilustrados en la página 303 de la Enciclopedia de Electricidad Quillet, tomo I, pongo por caso y sería largo ponerse a describir cada tipo de rectificador, basta con saber que es el aparato encargado de rectificar la corriente de alterna que entra, sale continua que es la que se necesita para alimentar a la batería de acumuladores, y que de otro modo por el uso constante se llegaría a descargar sino se le está constantemente alimentando o cargando.

Queda en esta forma bastante condensada, descritos a breves rasgos cada uno de los elementos principales y que constituyen la Central Eléctrica propiamente tal, y cuyo plano es el signado con el No. 21.

Lo ideal para completar este estudio de la parte eléctrica del Proyecto hubiera sido hacer un cálculo y planificación de la red o línea de transmisión hasta la ciudad de Ambato, pero como es un aspecto tan complejo y tan largo, no cabe que se lo trate como un capítulo de este trabajo, sino en tesis por separado.

Calculo económico del Proyecto "Huapante"

Para poder llegar a establecer el costo del kilowatio-hora generado en nuestro Proyecto "Huapante" tenemos que determinar los costos de cada una de las obras que hay que realizar en el desarrollo del mencionado Proyecto, para lo cual tenemos los siguientes datos:

Costos del Proyecto "Huapante"

Para un caudal permanente de

= 4 m³/s. :

Excavaciones:

<u>TUNEL:</u> 7.700 metros a \$ 6,50 m ³ /m son:	
50.050 m ³ a \$ 25,00 el m ³	\$ 1'251.250,00
20% más para roca a \$ 100,00m ³	
son 10010 m ³ x (100-25).....	\$ 750.750,00
<u>TUNEL:</u> 4.300 mtrs. a \$ 15,00 m ³ /m son:	
64.500 m ³ a \$ 7,00 el m ³ , previs-	
to en su mayor parte (3.300 mtrs	
sin revestimiento).....	\$ 451.500,00

Costo de revestimientos:

<u>TUNEL:</u> 5.700 mtrs. sin bóveda revestida	
1 m ³ /m a \$ 220,00 el m ³	\$ 1'254.000,00
2.000 mtrs. con bóveda revestida	
a \$ 2,5 m ³ /m a \$ 250,00 el m ³	\$ 1'250.000,00

Obras de arte:

BACAZ Y DESARENADOR.....	\$ 1'300.000,00
BOQUE DE PRESION.....	\$ 100.000,00
VIADEROS.....	\$ 300.000,00
TUBEDUCTOS.....	\$ 200.000,00
RETERO	\$ 100.000,00
ESTRUCTURAS DE CORONACION Y CAMINOS DE ACCESO.....	\$ 100.000,00
pasan.....	\$ 7'057.500,00

=====

vienen.....	\$	7'057.500,00
Obra de almacenamiento en una laguna.....	\$	400.000,00
Construcción de una Casa de Máquinas y Administración (ampliable).....	\$	300.000,00
suman.....	\$	7'757.500,00
Más un margen de 5% de gastos de imprevistos...	\$	387.875,00
suman.....	\$	8'145.375,00

En el caso de que fuera necesario, después de realizados estudios detenidos, el revestimiento del canal en su totalidad sería:

\$ 0,90 m³/m x 4300 mtrs son: 3870 m³ a razón de \$ 220,00 el m³.....\$ 851.400,00

Costo total de la obra hidráulica para la capacidad final de instalación.....\$ 8'996.775,00

SON: OCHO MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS SETENTA Y CINCO con 00/100/ sucres.-

Durante varios años deberán efectuarse estadísticas de precipitaciones y del caudal del Río Huapante o Yanayacu, y se resolverá a base de los informes correspondientes, si es necesario realizar el embalse en la segunda laguna, y después de un tiempo de producción, cuando la demanda así lo exiga, se realizará la obra del reservorio de regulación diurna en conexión con el tanque de presión.

Costos estimativos de las dos obras finales:

almacenamiento en la segunda laguna.....	\$	400.000,00
Almacenamiento en el reservorio de regulación diurna, costo de la obra.....	\$	500.000,00

Resumen:

Costo inmediato de la obra hidráulica para la capacidad final del Proyecto.....	\$	8'996.775,00
Costo total con las obras futuras.....	\$	9'896.775,00

Costos de:

Equipos de rejjas, compuertas, tubería de presión para dos grupos generadores de 3272 Kw. cada uno;

dos grupos de turbinas Pelton completos, inclusive válvulas, reguladores, generadores y las instalaciones para maniobra y control;

dos transformadores de elevación trifásicos de 4090 KVA cada uno y para elevación a 33 KV de tensión de transporte a la ciudad de Ambato de la energía;

Subestación en Ambato para 6544 Kw.....US\$ 540.000,00

Línea de transmisión a la ciudad de Ambato para una capacidad final de 6.088 Kw. y sobre postes de acero.....US\$ 180.000,00

Costo total en US\$ de la maquinaria instalada.....US\$ 720.000,00
=====

Sumamos el tipo de cambio oficial para el costo del dólar o sea a \$ 15,15 cada dólar, lo que representa en sucres..... \$ 10'808.000,00
=====

Este costo total de la maquinaria y línea de transmisión, sumamos el costo total de la obra hidráulica y tenemos:

Costo de la obra hidráulica.....\$ 8'996.775,00

Costo de la maquinaria y línea de transmisión a la ciudad de Ambato...\$ 10'808.000,00

Costo total del Proyecto "Huapante" para una capacidad de 6544 Kw. en dos grupos generadores de 3272 Kw cada uno, ~~lí-~~ línea de transmisión (18 Km) y Subestación en Ambato, o sea puestos los 6544 Kw.

Costo total de la ciudad de Ambato.....\$ 19'804.775,00
=====

A estos \$ 19'804.775,00 tenemos que sumar una cierta cantidad de sueres por los costos de los estudios finales del Proyecto lo cual querría decir que el costo final y definitivo del Proyecto "Huapante" sería el de:

Costo del Proyecto total.....\$	19'804.775,00
Costos de estudios finales.....\$	200.000,00
	<hr/>
Costo Final del Proyecto "Huapante" ..\$	20'004.775,00
	=====

SON: VEINTE MILLONES CUATRO MIL SETECIENTOS SETENTA Y CINCO 00/100/ sueres

Hay que hacer especial mención en que la obra hidráulica del Proyecto está prevista y construída PARA LA CAPACIDAD FINAL DE LA INSTALACION con un caudal de $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s.}$ para generar 13.088 Kw. en cuatro grupos generadores de 3.272 Kw. cada uno.

Una vez establecidos los costos parciales de las diversas obras a realizarse en el Proyecto y establecido el costo final total de la obra que es lo que interesa, vienen los cálculos a base de porcentajes sobre este costo total, que lo denominaremos capital inicial, para poder establecer el costo anual de operación de la Planta.

Se toman los siguientes porcentajes sobre el capital inicial, con sus respectivos conceptos, como sigue:

- 10.- 10% de interés anual sobre el capital inicial
- 20.- 1% de financiación del capital inicial, por comisiones corretajes de Bancos o instituciones particulares.
- 30.- 7% por gastos de operación, como son sueldos, aportes a las Instituciones de Seguro Social etc. en una palabra gastos administrativos.
- 40.- 2% por mantenimiento o sea por repuestos para la maquinaria, aceites y lubricantes etc.
- 50.- 1,783% por depreciación de toda la obra, inclusive obra hidráulica y maquinaria, esta depreciación se toma en un tiempo medio de vida de la instalación de 30 años
- 60.- Modernización de los equipos el 1%.

- 70.- 0,5% por seguros de la instalación
- 80.- 0,5% por gastos imprevistos y varios.

Aplicando estos porcentajes al valor total del capital inicial del Proyecto Huapante tenemos las siguientes partidas:

Sobre un capital inicial total de: \$ 20'000.775,00:

10% de interés comercial anual.....\$	2'000.477,50
1% financiación del capital.....\$	200.047,75
7% por gastos de operación.....\$	1'400.334,25
2% por mantenimiento (repuestos etc).....\$	400.095,50
1,783% por depreciación (30 años).....\$	356.685,15
1% modernización de los equipos.....\$	200.047,75
0,5% por seguros de la instalación.....\$	100.023,85
0,5% por varios e imprevistos.....\$	100.023,85
	<hr/>
suman.....\$	4'757.735,60
	<hr/>

Luego el costo anual de operación al generar la energía eléctrica para la ciudad de Ambato es de CUATRO MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS TREINTA Y CINCO con 60/100 sucres.

Al realizar el cálculo de la maquinaria a instalarse para el Proyecto "Huapante", habíamos hecho un cuadro de la potencia a instalarse para la ciudad de Ambato y partíamos del año 1956 como primer año de producción de energía, año en el que el factor de aprovechamiento era de 0,475 y se obtuvo que los Kilowatios-horas generados fueron de 11.650.000 Kwh, y si tenemos un costo anual de operación de \$ 4'757.735,60 para generar esta cantidad de kilowatios-horas en el año 1956, tendremos que el costo del kilowatio-hora generado en estas condiciones será de:

$$\frac{4'757.735,60}{11.650.000} = \$ 0,41$$

Y así hay que seguir realizando sucesivamente los cálculos respectivos a base de los kilowatios-horas generados en cada año a partir de 1956.

En esta forma se puede llegar a formar un cuadro para los costos del kWh generado a partir del año 1956 hasta el

año de 1965 que se han realizado los cálculos, anotando sin embargo que a partir del año 1963 hay que instalar un tercer grupo generador, ya que los dos grupos previstos como instalación inmediata no van a cubrir las necesidades de Ambato sino hasta el año 1962, año en el que van a ser necesarios de generación 6.300 Kw. con un factor de aprovechamiento de 0,55.

Cuadro de costos del Kwh generado en el Proyecto "Huapante"

AÑO	Kwh generados en el año	COSTO ANUAL de operación	Costo del Kwh
1956	11.650.000	\$ 4'757.735,60	\$ 0,41
1957	15.540.000	\$ " " "	\$ 0,31
1958	19.200.000	\$ " " "	\$ 0,25
1959	22.850.000	\$ " " "	\$ 0,21
1960	25.150.000	\$ " " "	\$ 0,19
1961	27.650.000	\$ " " "	\$ 0,172
1962	30.400.000	\$ " " "	\$ 0,158
....
....

A partir del año 1962 se hace necesario instalar un tercer grupo más de 3272 Kw. con lo cual quedan cubiertas las posibles y probables necesidades de Ambato hasta más o menos el año 1966 o 1967, y entonces con la instalación de este nuevo grupo de generación, el costo del kilowatio-hora generado va a volver a subir nuevamente para paulatinamente y con el aumento de kilowatios-horas generados, bajar nuevamente hasta ponerse en un precio racional para la venta al consumidor.

Cabe anotar que este dividendo anual de costo de operación de la Planta generadora de Huapante de \$ 4'757.735,60 va a mantenerse en un valor constante durante los años que no haya mayor aumento de jornales por ejemplo y que den por resultado que en vez de aplicarse el 7% por operación y gastos administrativos, haya que considerar un 7,5% ó hasta un 8%, lo cual

ría como resultado una variación en el valor del dividendo de costo anual, variación que para los efectos de cálculo sería compensada por la partida que se denomina financiación y que consiste como ya dedujimos en las comisiones de corretaje que cobran los Bancos o las empresas particulares para conseguir el dinero para el capital inicial, y que va a ser pagada una sola vez, o sea que se aplicaría al primer año en el peor de los casos, o se pagaría por dividendos anuales que representarían menos del 1% cargado en el cálculo del costo.

Además cabe también anotar que las partidas que dicen mantenimiento, modernización etc. y que suman un 3%, durante los primeros años, digamos durante los tres primeros años, no serían de tomarse en cuenta, ya que se supone que en los primeros años de funcionamiento la planta no va a necesitar una cantidad tal de repuestos y su equipo va a ser lo suficientemente moderno, como para que este valor del 3% sea aplicable a partir del cuarto año de funcionamiento.

Al no tomarse en cuenta estas dos partidas de mantenimiento y de modernización del equipo, el costo de operación anual de la Planta va a rebajar, y esta rebaja sirve para poder cubrir en los primeros años el déficit lógico que va a existir siempre en los balances, ya que no es posible querer exigir al consumidor, por más necesidad que éste tenga de energía, el que pague a un precio subido el kilowatio-hora para cubrir los gastos iniciales de la instalación.

Para terminar este estudio del denominado Proyecto "Huapante" para la electrificación de la Provincia de Tungurahua, y en especial para dar energía a la ciudad de Ambato, tengo que declarar que falta hacer el cálculo exacto y planificación de la línea de transmisión de la energía generada en Huapante hasta Ambato, y que constituye por sí sola una Tesis de Grado completa, reservándome para un segundo tomo de esta obra, que voy a presentar posteriormente al presente.

Para poner punto final a este trabajo, tengo que consignar mi especial agradecimiento al Ing. Dimitri Kakabadse, autor del presente Proyecto y Director de esta Tesis, y quien con celo, desinterés y buena voluntad, ha sacrificado mucho de su tiempo, para dedicarse a trabajar conmigo en esta obra.

Vaya también mi agradecimiento al Ing. Vicente Jácome, quien ha sabido colaborar con sus valiosos conocimientos en muchos puntos de este trabajo, y para todos mis profesores y compañeros, que en una u otra forma me han prestado su voz de aliento para llegar a poner el punto final en el trabajo del PROYECTO " HUAPANTE".

- F I N -

Quito, Junio 30 de 1955

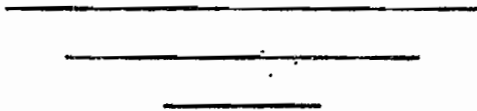
-17-

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
Introducción	3
Datos generales	6
Desarrollo del Proyecto: Bocatoná y Dique.....	9
Compuerta de limpia y callejón de arrastre.....	11
Orificio sumergido	12
Vertedero de control	14
Trampa de Grava	16
Compuerta de desagüe y compuerta de control.....	17
Canal de conducción	19
Tanque desarenador	21
Canal abierto revestido	26
Túnel revestido	28
Canal abierto no revestido	29
Determinación de cotas	31
Tanque de presión	32
Cálculo de fuerzas en los muros del tanque.....	36
Dibujo No.13.-Tanque de presión: muros.....	39
Tubería de presión	41
Cálculo para una sola tubería	43
Cálculo para dos tuberías	45
Cálculo de los espesores de la tubería.....	47
Cálculo de los pesos de la tubería.....	49
Chimenea de ventilación	50
Cálculo de dilataciones en la tubería.....	53
Cálculo de esfuerzos sobre los anclajes.....	55
Cómputo de los esfuerzos en los anclajes.....	66
Diseño de los bloques de anclaje	69
Diseño de los puntos de apoyo	77
Cálculo de la maquinaria	84
Potencia de instalación	85
Cálculo de las turbinas	87
Cálculo de las turbinas (ampliación).....	91
Tipo de turbina	92
Rodete de la turbina	93
Cucharas, paletas o cazoletas (plano No. 16 bis)...	94
Número de cucharas	95
Regulador de la turbina	96
Cálculo del diámetro económico de la tubería.....	99

PAGINA:

Cálculo del Generador	104
Factor de Potencia	107
Montaje: 1er. caso	109
Montaje: 2do.caso	110
Excitatriz del generador	111
Curvas de Rendimiento entre Francis y Pelton:	112
Reservorio de regulación diurna.....	113
Curva de carga (plano)	116
Central eléctrica	119
Cálculo económico del Proyecto	135
Indice	143



Lista de textos y obras consultadas para el trabajo del

PROYECTO "HUAPANTE"

Motores Hidráulicos del Ing. L. Quantz

Manual HUTTE del ingeniero

Enciclopedia de Electricidad QUILLIET (dos tomos)

Electromecánica del Ing. L. Singer

Tecnología Eléctrica del Ing. Eugenio Cubillo López

Lecciones de Electricidad del Ing. J. Ney

Salto de Agua y Presas de Embalse del Ing. J. Luis Gómez Navarro

Hidráulica Práctica del Ing. Antonio G. Soares Branco

Motores Hidráulicos del Mayor Ing. Marcos Gándara

Curso de Electrotecnia, dictado en la Escuela Politécnica
Nacional por el Ing. Vicente Jácome

Curso de Hidráulica, dictado en la Escuela Politécnica Nacio-
nal por el Ing. Vicente Jácome

Curso de Hidráulica, dictado en la Escuela Politécnica Nacio-
nal por el Mayor Ing. Marcos Gándara

Curso de Proyectos Hidroeléctricos, dictado por el Ing. Dimi-
tri Kakabadse en la Escuela Politécnica

Memoria Descriptiva del Proyecto "Huapante" del Ing. Dimitri
Kakabadse.
