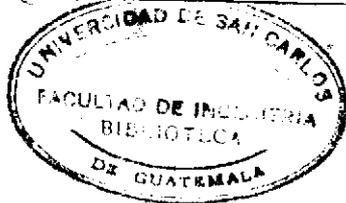


D.L.
08
T(01)c



T
MFN: 325

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

GUATEMALA, C. A.

Consideraciones sobre la construcción
de una planta hidroeléctrica de
5,500 kilowatios sobre el Río Naranjo

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

POR

HECTOR DAVID TORRES COBAR

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, C. A. MARZO DE 1949

**JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano	Ing. Miguel Asturias Q.
Vocal 1º	Ing. Joaquín Olivares.
Vocal 2º	Ing. Juan Luis Lizarralde.
Vocal 3º	Ing. Arturo Páiz h.
Vocal 4º	Br. Francisco Arrivillaga.
Vocal 5º	Br. Roberto Barillas.
Secretario	Ing. Rubén Ruiz Silva.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Ing. Joaquín Olivares.
Ing. Rubén Ruiz Silva.
Ing. Arturo Páiz h.
Ing. Carlos Quezada.
Ing. Bernardo Fuentes A.

DEDICO ESTE ACTO:

A la Facultad de Ingeniería

Honorable Tribunal Examinador:

Cumpliendo con lo establecido por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presentar a vosotros mi trabajo de tesis titulado: "Consideraciones sobre la construcción de una Planta Hidroeléctrica de 5,500 kilowatios en el Río Naranjo"; trabajo que me fué asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

PROLOGO

El hombre, considerado como una especie del reino animal, es decir, lo que hoy es el "Homo Sapiens", fué creado en un medio ambiente desfavorable, ya que sus fuerzas físicas y su poca protección natural contra los agentes climáticos y atmosféricos hicieron que su existencia en la Tierra, desde su aparición como hombre, fuera una continua lucha en contra de la naturaleza más fuerte que él. Pero al mismo tiempo que el hombre estaba tan pobremente dotado de fuerza física, que sus dedos carecían de garras y en sus mandíbulas no habían colmillos suficientemente fuertes para disputar a diario la comida con las fieras y animales que convivían con él, que su cuerpo estaba escasamente cubierto de vello, insuficiente para protegerse de las lluvias y del frío, el hombre poseía, con exclusividad sobre los demás habitantes de la tierra, una fuerza intelectual que en un principio era solamente un instinto de conservación adelantado, que le enseñó a servirse de las fuerzas naturales para contrarrestar su propia flaqueza. Así fué como el hombre comenzó a valerse de la cachiporra y aprendió a usar el fuego. Con el transcurso de los siglos el hombre fué evolucionando al amparo de las fuerzas naturales que podía utilizar gracias a su fuerza intelectual, y con la evolución de su mismo intelecto aprendió a servirse mejor de las fuerzas de la naturaleza; es decir, aprendió, y aún hoy sigue aprendiendo, a dominar y a aprovechar la energía que le brinda la naturaleza para poder sobrevivir, y es más, para facilitarse comodidades que hagan más placentera su existencia sobre el planeta.

Lo dicho anteriormente, a guisa de prólogo, sirve para explicar, y aun para justificar en cierto modo, el derecho que tiene el hombre para usar a su antojo y conveniencia de la energía química de sólidos y flúidos, de la energía cinética del viento y del agua, de la energía colorífica del sol, de la energía atómica y en fin de cualquier clase de energía que pueda ayudarlo para llevar adelante aquel gran principio edonístico, tan arraigado en el modus vivendi humano: "máximum de bienestar con el mínimum de esfuerzo".

CONSIDERACIONES SOBRE LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA HIDROELECTRICA DE 5.500 KILO- WATIOS EN EL RIO NARANJO

He aceptado con verdadero entusiasmo el punto de tesis que se sirvió fijarme la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería, que se titula "CONSIDERACIONES SOBRE LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA HIDROELECTRICA DE 5,500 KILOWATIOS EN EL RIO NARANJO", porque comprendo que es de vital importancia para mi patria el aprovechamiento de la energía natural que pueda convertirse en energía eléctrica; ya que su agricultura, su comercio y sobre todo su industria reclaman y exigen gran cantidad de energía eléctrica a bajo precio; y sólo cuando se vea cumplida esta condición podrá iniciarse el verdadero desarrollo agrícola, industrial y comercial, que a todas luces redundará en beneficio de todos los habitantes.

En el desarrollo del punto de tesis que se me ha fijado, no pretendo hacer un proyecto de construcción completo, sino únicamente hacer ver la posibilidad de aprovechar las condiciones y características ideales del río Naranjo, y la forma en que puede construirse ahí una usina hidroeléctrica.

Para llevar adelante el desarrollo del tema con algún método, he pensado dividirlo en los siguientes capítulos:

I) Preferencia que debe darse en Guatemala a la energía hidráulica para fines de electrificación.

II) Características del río Naranjo aprovechables para la construcción de una planta eléctrica.

III) Consideraciones sobre los elementos que formarán el proyecto de construcción. Dividido en:

- 1) Referente a Hidráulica, Topografía y Geología.
- 2) Que comprende la Resistencia de Materiales o la Estabilidad de las construcciones.
- 3) Que abarca la parte de electrotecnia.

IV) Distribución y destino que puede dársele a la energía eléctrica generada y análisis económico de la obra.

CONCLUSIONES

I) PREFERENCIA QUE DEBE DARSE EN GUATEMALA A LA ENERGIA HIDRAULICA PARA FINES DE ELECTRIFICACION

La electricidad, esa forma maravillosa de la energía, puede obtenerse de muchas maneras; de las cuales, por citar sólo algunas, tenemos: por contacto de dos metales, por fricción de dos cuerpos, por compresión de un cristal en determinado plano, por reacciones químicas, por movimiento de un conductor metálico en un campo magnético, etc., etc. Pero de todas estas maneras de obtener electricidad, nos interesa por el momento únicamente el movimiento de un conductor eléctrico dentro de un campo magnético, puesto que es de esta manera como hasta hoy se obtiene la corriente eléctrica en grandes cantidades. Es probable que algún día se descubra la manera de obtener electricidad por transformación de la energía atómica.

La electricidad, como ya dije, puede producirse haciendo mover un conductor metálico colocado dentro de un campo magnético. Tal fenómeno de acuerdo con la teoría vibratoria se debe a lo siguiente: el movimiento, relativamente lento de un conductor metálico, dentro del campo magnético produce una vibración de elevadísima frecuencia en las moléculas que forman el conductor. Esta vibración no altera la naturaleza intrínseca del conductor y se transmite de molécula a molécula, con una intensidad que varía de acuerdo con la menor o mayor resistencia que opongan las moléculas a la transmisión de esta vibración, es decir, según que el cuerpo sea mejor o peor conductor.

A esta vibración extraña, cuya naturaleza misma aún se desconoce, se le da el nombre de "Electricidad".

La máquina en cuyo seno se produce la electricidad, aquella dentro de la cual se mueven los conductores metálicos en un campo magnético, se llama generador; ahora bien, lo que nos interesa discutir en este punto es la manera de mover estos conductores, o sea la forma de accionar el generador; mejor dicho, nos interesa estudiar las ventajas y desventajas que tienen las diferentes máquinas que pueden accionar un generador y luego decidir cuáles son las más convenientes para la electrificación de Guatemala.

Los motores que se usan corrientemente para accionar un generador podemos dividirlos en tres grandes tipos:

- a) Motores de Explosión, entre los cuales tenemos los motores diesel, a querosén y a gasolina;
- b) Motores Térmicos, en los cuales un combustible calienta un fluido, que es el que desarrolla la fuerza mecánica.

El combustible puede ser leña, petróleo crudo, carbón pulverizado, carbón mineral, etc. El fluido puede ser agua, que se transforma en vapor, o simplemente aire o gases calientes. Entre este tipo de motores tenemos los de vapor a émbolo, las turbinas de vapor y las turbinas de gases calientes. Y por último tenemos el grupo:

- c) Motores Hidráulicos: Los motores hidráulicos son aquellos en los cuales la energía del agua es utilizada para producir movimiento. El motor hidráulico trabaja por efecto de la presión dinámica de una corriente de agua obligada a cambiar de dirección o de velocidad, o ambas a la vez, o bien por el peso del agua que cae de un nivel superior a un nivel inferior. Hay gran variedad de motores hidráulicos, que pueden clasificarse así:

Ruedas comunes,
Ruedas de impulso, y
Ruedas de reacción.

I) PREFERENCIA QUE DEBE DARSE EN GUATEMALA A LA ENERGIA HIDRAULICA PARA FINES DE ELECTRIFICACION

La electricidad, esa forma maravillosa de la energía, puede obtenerse de muchas maneras; de las cuales, por citar sólo algunas, tenemos: por contacto de dos metales, por fricción de dos cuerpos, por compresión de un cristal en determinado plano, por reacciones químicas, por movimiento de un conductor metálico en un campo magnético, etc., etc. Pero de todas estas maneras de obtener electricidad, nos interesa por el momento únicamente el movimiento de un conductor eléctrico dentro de un campo magnético, puesto que es de esta manera como hasta hoy se obtiene la corriente eléctrica en grandes cantidades. Es probable que algún día se descubra la manera de obtener electricidad por transformación de la energía atómica.

La electricidad, como ya dije, puede producirse haciendo mover un conductor metálico colocado dentro de un campo magnético. Tal fenómeno de acuerdo con la teoría vibratoria se debe a lo siguiente: el movimiento, relativamente lento de un conductor metálico, dentro del campo magnético produce una vibración de elevadísima frecuencia en las moléculas que forman el conductor. Esta vibración no altera la naturaleza intrínseca del conductor y se transmite de molécula a molécula, con una intensidad que varía de acuerdo con la menor o mayor resistencia que opongan las moléculas a la transmisión de esta vibración, es decir, según que el cuerpo sea mejor o peor conductor.

A esta vibración extraña, cuya naturaleza misma aún se desconoce, se le da el nombre de "Electricidad".

La máquina en cuyo seno se produce la electricidad, aquella dentro de la cual se mueven los conductores metálicos en un campo magnético, se llama generador; ahora bien, lo que nos interesa discutir en este punto es la manera de mover estos conductores, o sea la forma de accionar el generador; mejor dicho, nos interesa estudiar las ventajas y desventajas que tienen las diferentes máquinas que pueden accionar un generador y luego decidir cuáles son las más convenientes para la electrificación de Guatemala.

Los motores que se usan corrientemente para accionar un generador podemos dividirlos en tres grandes tipos:

- a) Motores de Explosión, entre los cuales tenemos los motores diesel, a querosén y a gasolina;
- b) Motores Térmicos, en los cuales un combustible calienta un fluido, que es el que desarrolla la fuerza mecánica.

El combustible puede ser leña, petróleo crudo, carbón pulverizado, carbón mineral, etc. El fluido puede ser agua, que se transforma en vapor, o simplemente aire o gases calientes. Entre este tipo de motores tenemos los de vapor a émbolo, las turbinas de vapor y las turbinas de gases calientes. Y por último tenemos el grupo:

- c) Motores Hidráulicos: Los motores hidráulicos son aquellos en los cuales la energía del agua es utilizada para producir movimiento. El motor hidráulico trabaja por efecto de la presión dinámica de una corriente de agua obligada a cambiar de dirección o de velocidad, o ambas a la vez, o bien por el peso del agua que cae de un nivel superior a un nivel inferior. Hay gran variedad de motores hidráulicos, que pueden clasificarse así:

Ruedas comunes,
Ruedas de impulso, y
Ruedas de reacción.

Entre las ruedas comunes tenemos las de admisión superior, de admisión lateral y de admisión inferior. Estas ruedas tienen muchos inconvenientes y ya casi no se usan, Modernamente se usan las turbinas que pueden clasificarse así:

Admisión Parcial	{	Banki
		Girard
		Peltón, de impulso.
Admisión Total	{	Axiales - Jonval
		Francis - centrípeta
		Fourneyron - centrífuga
		Kaplan - de hélice.

Trataré ahora de hacer un breve estudio de las ventajas y desventajas que tiene cada uno de los tipos de motores corrientemente usados en grupos electrógenos:

MOTORES DE EXPLOSION

Los motores de explosión han sido muy empleados para la generación de energía eléctrica cuando no puede disponerse de otro sistema mejor; especialmente se usan los motores diesel por lo barato que es el combustible que consumen y porque desarrollan su máxima potencia a menos revoluciones por minuto que un motor de gasolina. Sin embargo, el motor diesel es una máquina pesada, mucho más pesada por caballo de fuerza, que el motor de gasolina.

A los motores de explosión deben reconocérseles las siguientes ventajas: El grupo electrógeno puede instalarse directamente en el lugar en que va a ser consumida la energía eléctrica y son, por decirlo así, portátiles. La instalación de esta clase de plantas es más rápida que la de cualquiera otro tipo. Se prestan muy bien para instalaciones de emergencia pero no para instalaciones definitivas en poblaciones, por ser de funcionamiento antieconómico.

Por otra parte, los motores de explosión tienen las siguientes desventajas: el rendimiento de la máquina es ventajoso solamente cuando la planta está trabajando con $\frac{3}{4}$ de la carga máxima en adelante. El motor de explosión aprovecha solamente un 25 por ciento a un 33 por ciento (en los motores diesel) de la energía del combustible. El motor de explosión es una máquina de muchas partes móviles expuestas al desgaste, y que necesita mucha vigilancia y cuidado. El motor de explosión disminuye considerablemente su grado de efectividad conforme aumenta la altura sobre el nivel del mar del lugar en que trabaja, prácticamente puede asumirse que el rendimiento del motor disminuye un 10 por ciento por cada 1000 metros de altura sobre el nivel del mar; este defecto se remedia en parte usando inyección de aire forzado. El motor de explosión es ruidoso y produce gases de escape que no siempre pueden eliminarse cómodamente. El valor del combustible consumido hace subir considerablemente el precio del kilowatio-hora que tiene que pagar el consumidor. Considerando que Guatemala no tiene petróleo, y si lo tiene aún no se explota, los combustibles tienen necesariamente que ser comprados a países extranjeros.

MOTORES TERMICOS

Pasemos ahora a considerar las ventajas y desventajas que nos ofrecen las llamadas unidades termoeléctricas. Una unidad termoeléctrica está formada en esencia por un motor térmico de vapor, de gas, o de aire caliente, que trabaja a determinada presión y temperatura, acoplado a un generador eléctrico. De las instalaciones que existen de este tipo, se deduce que ofrecen las siguientes ventajas:

El montaje de estas plantas es relativamente rápido, pueden instalarse directamente en el lugar en que se va a consumir la energía eléctrica, o muy cerca de él, siempre

que exista una fuente de agua para el abastecimiento de la planta, en el caso las turbinas de vapor. El rendimiento de las unidades termoeléctricas modernas es alto, pudiendo alcanzarse hasta el 85 y 90 por ciento. El valor del kilowatio instalado en una planta termoeléctrica es más bajo que en una planta hidroeléctrica. Sin embargo, la electrificación de un país como Guatemala, por medio de plantas termoeléctricas sería desventajosa por las razones siguientes:

Una instalación de este tipo es de funcionamiento complejo y delicado; en las plantas modernas se necesita siempre que exista una fuente de energía eléctrica, ajena a la planta termoeléctrica, para accionar los pequeños motores que ponen en funcionamiento las bombas inyectoras de agua a la caldera, inyección de combustible, el agua del condensador, etc., antes de comenzar a funcionar la planta. Pero, la razón más importante para desechar el uso de plantas termoeléctricas en Guatemala es el hecho de que el combustible que consume la planta, ya sea petróleo o carbón mineral, debe ser comprado a países extranjeros y por lo tanto su importación está expuesta a los vaivenes de la política; dicho en otras palabras, cuando el país o países abastecedores de combustible decidieran no mandar más petróleo a Guatemala, se tendrían que parar las plantas termoeléctricas, con gran detrimento para la economía de la Nación. El funcionamiento de estas plantas es caro y por lo tanto también lo es el valor del kilowatio-hora que se vende.

MOTORES HIDRAULICOS

Consideremos ahora las ventajas y desventajas que nos ofrecen las plantas hidroeléctricas. Primero vamos a analizar las grandes ventajas que se obtienen en plantas movidas por agua:

En primer lugar tenemos la gran abundancia de caídas de agua que pueden aprovecharse fácilmente para fines de electrificación; las plantas hidroeléctricas son de manteni-

miento muy barato, pues no consumen ningún combustible y sólo necesitan engrasamiento de chumaceras o cojinetes. Las máquinas hidráulicas son en general muy simples, es decir, que sólo tienen una parte móvil: el rodete, y también tienen un rendimiento muy elevado; en las turbinas modernas se pueden alcanzar rendimientos del 85 y 90 por ciento, o más.

Sin embargo, las plantas hidroeléctricas ofrecen desventajas que es necesario señalar: Las plantas hidroeléctricas tienen que colocarse necesariamente en el lugar en que existe la caída de agua y que las características del terreno sean propicias para la construcción; este importante factor hace que las líneas de transmisión sean largas, para llevar la energía a los centros de consumo, y por ende caras. La instalación de una planta hidroeléctrica implica siempre la construcción de una serie de obras de estabilidad, como son presas, muros de contención, desarenadores, túneles, etc., que necesitan estudios hidráulicos, geológicos y de resistencia de materiales; el conjunto de estas obras hace que el valor del kilowatio instalado sea más caro que en otros tipos de plantas, aunque el precio del kilowatio-hora vendido es más bajo.

Una planta hidroeléctrica toma mucho más tiempo de construcción que una planta termoeléctrica, por ejemplo.

De las consideraciones anteriores sobre las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de plantas eléctricas, se deduce que el sistema ideal para la electrificación de Guatemala es el de plantas hidroeléctricas, pues es la única forma de dar al país gran cantidad de energía eléctrica a bajo precio; considerando que nuestro país afortunadamente cuenta con varios ríos caudalosos que perfectamente pueden suplir las necesidades presentes y futuras de Guatemala. Únicamente es de desear que las autoridades competentes inicien una fuerte campaña en el sentido de reforestación

de bosques, pues ésa es la única forma de mantener el régimen de lluvias, que como consecuencia directa afecta el caudal de agua de los ríos y vertientes.

Recomiendo en especial el aprovechamiento de las caídas de agua que puedan abastecer zonas enteras de la República, es decir, construir grandes usinas hidroeléctricas y no poner plantas pequeñas en cada pueblo que tengan una pequeña caída de agua. Teniendo grandes centrales hidroeléctricas se obtiene la energía a precio más bajo y el servicio es más parejo y más eficiente.

En Guatemala tenemos actualmente funcionando una planta termoeléctrica, situada a orillas del lago de Amatitlán, que pertenece a la "Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A." Esta planta, de 2,500 kilowatios, funciona muy bien, pero necesariamente el costo de funcionamiento es muy elevado; este detalle no le importa a la Empresa, pues es el público consumidor quien paga, es decir, que todo aquél que necesite energía eléctrica tiene que pagar precios muy elevados. La Empresa en esta forma equilibra sus finanzas, pero a costas del pueblo de Guatemala, que es quien sufre las consecuencias de la instalación de una planta termoeléctrica.

II) CARACTERISTICAS DEL RIO NARANJO APROVECHABLES PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA ELECTRICA

El río "Naranjo", que nace en el departamento de Quezaltenango, recorre más o menos 40 kilómetros hasta llegar a un punto, que dista 5 kilómetros de Coatepeque, en el departamento de Quezaltenango, en el cual su caudal es aumentado con las aguas del río Negro, ambos ríos ya juntos conservan el nombre de río Naranjo. Este río fué aforado en noviembre de 1948, habiendo encontrado un gasto de 20 m³ por segundo. A una distancia de tres kilómetros de Coatepeque el río corre en el fondo de un cañón que tiene 120 metros de profundidad, y un ancho promedio de 80 metros. Las aguas de este río son bastante limpias, pudiendo asumirse que su grado de turbidez no es mayor de 10, excepto cuando bajan grandes crecientes, en la época de lluvias, en las cuales el caudal del río se aumenta hasta 80 a 100 m³/seg. aproximadamente y el grado de turbidez aumenta también. Una característica de este río que hay que hacer resaltar es el hecho de que casi no tiene arrastre de arena, circunstancia muy apreciable para el proyecto de una planta hidroeléctrica porque las paletas de las turbinas no se desgastan con el rozamiento de la arena.

A una distancia de 3 kilómetros de Coatepeque el cañón que forma el río ofrece características muy convenientes para la construcción de una planta hidroeléctrica. En este lugar el cañón está formado por acantilados casi verticales de más de 100 metros de altura; a partir de esta altura, hacia arriba, las paredes del acantilado suavizan su pendiente hasta formar ángulos de 45 grados, en los cuales ha crecido vegetación abundante.

Es en este lugar en donde puede construirse una presa para utilizar las aguas del río Naranjo en una planta hidroeléctrica. En el lugar que se indica, los márgenes del río, es decir, los acantilados del cañón son de una roca, probablemente granítica, que es muy a propósito para la cimentación de una presa grande. Sin embargo, antes de hacer un proyecto definitivo de construcción es necesario e indispensable hacer una exploración geológica completa con objeto de averiguar la profundidad del estrato rocoso, su naturaleza y su resistencia mecánica a la compresión; todos estos datos servirán para garantizar la solidez de la futura construcción. La pendiente que tiene el río en el cañón fué calculada en 2 por ciento.

Procederemos ahora a calcular la potencia máxima que puede obtenerse para una planta hidroeléctrica en el río Naranjo, para esto usamos la fórmula:

$$\text{POTENCIA} = \frac{Q \times h}{75} \times e$$

en la cual: Q = gasto en litros por segundo

h = altura en metros

e = rendimiento de máquinas

e_H = rendimiento de la turbina hidráulica.

e_E = rendimiento del generador eléctrico.

$$e = e_H \times e_E$$

Asumiendo $e_H = 0.86$ y $e_E = 0.93$

$$\therefore e = 0.86 \times 0.93 = 0.80$$

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA} &= \frac{Q \times h}{75} \times 0.80 \\ &= \frac{20,000 \times 100 \times 0.80}{75} \end{aligned}$$

$$= 21,300 \text{ caballos de vapor efectivos.}$$

o sea $21,300 \times 0.736$

Potencia = 15,700 K. W.

Es decir, que la planta más grande que puede construirse en este lugar tendría una potencia máxima de 17,500 kilowatios.

En el cálculo anterior se tomó la altura de la presa (h) en 100 metros. En Guatemala no se tiene ninguna experiencia sobre presas de gran altura, y una presa de 100 metros de alto exige cálculos y ejecución muy delicados, por una parte; por otra, Guatemala es un país eminentemente volcánico y sería muy peligrosa la construcción de una presa de 100 metros de altura, ya que un movimiento sísmico podría ser fatal a la estabilidad de la estructura. Por lo tanto, lo recomendable es construir una presa que tenga como máximo una altura de 35 metros. En este caso, la potencia que puede obtenerse es de:

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA} &= \frac{20,000 \times 35}{75} \times 0.80 \\ &= 7,460 \text{ caballos de fuerza efectivos.} \end{aligned}$$

o sea:

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA} &= 7,460 \times 0.736 \\ &= 5,500 \text{ K. W.} \end{aligned}$$

Es decir, que puede construirse una presa segura para una planta que pueda desarrollar 5,500 kilowatios, cantidad de energía eléctrica que satisfaría, por el momento, la constante demanda que hay en la República.

Otra gran ventaja que ofrece el río Naranjo para la construcción de una planta hidroeléctrica es su posición geográfica; como ya se dijo, se encontraría situada la planta a 3 kilómetros de Coatepeque y por lo tanto al iniciar la construcción no habría necesidad de construir campamentos de obreros, pues los trabajadores podrían vivir en Coatepeque e ir diariamente a su trabajo.

Por otra parte, hay línea ferroviaria de Guatemala a Coatepeque y carretera que pasa a la orilla del río, de manera que se facilitaría mucho el transporte de materiales y maquinaria.

De las consideraciones anteriores se deduce que el río Naranjo ofrece grandes posibilidades para ayudar a la electrificación de la zona sudoccidental de la República.

III) CONSIDERACIONES SOBRE LOS ELEMENTOS QUE FORMARAN EL PROYECTO DE CONSTRUCCION

Como se ha dicho en páginas anteriores, en el desarrollo de un punto de tesis como el presente, es imposible hacer un proyecto completo de construcción, por varias razones; entre otras, porque no ese ése el objeto de una tesis y además porque la realización de un proyecto completo para una construcción de esta naturaleza exige el concurso de verdaderos especialistas en diferentes ramas de Ingeniería. Para la confección del proyecto se necesitan detenidos estudios sobre Geología, Mecánica de Suelos, Estabilidad, Hidráulica, Electrotecnia, etc., etc., tarea tremendamente superior a mis capacidades. Por lo tanto me limitaré a dar algunas consideraciones teóricas y prácticas sobre el cálculo de los diferentes elementos que deben formar el proyecto de construcción.

He explicado antes que en Guatemala, es sumamente peligrosa la construcción de presas de gran altura, debido a que los movimientos sísmicos, tan frecuentes en nuestro país, pondrían en peligro la obra y aun podrían destruir un trabajo de gran esfuerzo y largo tiempo de construcción. En el lugar indicado, en el río Naranjo, podría construirse una presa hasta de 100 metros de altura; este dique tendría un volumen de 350,000 m³ de hormigón, al entrar en vibración esta masa, por efecto de un temblor, se producirían esfuerzos de tracción y corte superiores a la resistencia del hormigón, produciéndose grietas horizontales y verticales, que al aumentarse por efectos de la supresión originarían la destrucción completa del dique, con las fatales consecuencias que pueden imaginarse. Por lo tanto me limitaré a dar algunas consideraciones, tomando como base la construcción

de una presa de 35 metros de altura, que es la altura máxima que en mi opinión puede darse a un dique en Guatemala. Con un dique de 35 metros de altura puede instalarse una planta de 5,500 K. W.

Para seguir un orden, dividiré este capítulo en tres partes:

1) QUE COMPRENDE LA PARTE REFERENTE A
HIDRAULICA, TOPOGRAFIA Y GEOLOGIA

Los primeros pasos que deben darse antes de abordar los cálculos de Estabilidad y Electrotecnia, para la realización del proyecto de construcción, son los siguientes:

- a) Aforo del caudal del río;
- b) Levantamiento topográfico completo; y
- c) Exploración Geológica.

a) *Aforo del Caudal del río.*

Como se comprenderá, es de importancia capital y básica el saber exactamente con qué gasto (caudal en la unidad de tiempo) se puede contar, pues de este dato dependen todos los cálculos posteriores.

En el aforo del río deben abarcarse todas las estaciones del año, y recabar datos sobre aforos que se hayan hecho anteriormente para establecer comparaciones. Debe tomarse en cuenta el gasto del río durante las crecientes, esto es muy importante para el cálculo de los aliviadores y rebases de la presa.

El aforo del río, para que sea suficientemente exacto, debe hacerse con molinete hidráulico. Cualquiera otro sistema de aforo sería inadecuado y poco exacto, para este caso. Para hacer un aforo con molinete se procede de la siguiente manera:

En primer lugar debe escogerse un lugar a propósito en el río, es decir, debe escogerse un sitio del río en que no haya piedras grandes, que el fondo sea un lecho parejo, que

no haya remolinos ni curvas del río. En un lugar tal se procede a medir la distancia de una orilla a la otra. En una de las orillas se coloca una marca a la cual se llama punto inicial o "banco marca". Hecho esto se procede a sondear el río a distancias iguales del banco marca, generalmente se hacen estos sondeos cada metro a partir del punto inicial; conviene numerar cada punto de sondeo para poder hacer referencia a él. Los sondeos pueden hacerse con una barra graduada o bien con una cinta o cable de acero graduado que lleva un peso en el extremo. Después de haber sondeado el río se procede a colocar el molinete hidráulico en cada punto de sondeo. En cada estación de sondeo se coloca el molinete dos veces, primero a 0.2 de la profundidad sondeada y luego a 0.8 de esta medida. Se ajustan los contactos eléctricos del molinete de manera conveniente y se va anotando el número de contactos eléctricos (percibidos en los auriculares). Cada molinete trae de la fábrica una tabla para transformar el número de contactos eléctricos percibidos en determinado tiempo, en unidades de velocidad.

En cada estación de sondeo se toma el promedio de velocidad que arrojan las medidas hechas a 0.2 y 0.8 de la profundidad. El gasto total del río es igual a la suma de los incrementos de los gastos entre las sucesivas estaciones de medida y cada incremento de gasto es el producto de la altura promedia por la velocidad promedia.

Para encontrar el incremento de gasto en cada sección puede emplearse una fórmula muy sencilla. Supongamos que queremos encontrar el gasto en la sección comprendida entre las estaciones de sondeo 5 y 6, tenemos:

$$q = l \times \frac{(V_5 + V_6)}{2} \times \frac{(h_5 + h_6)}{2}$$

En la cual:

q = gasto en la sección considerada

l = ancho de la sección

V = velocidad promedia

h = profundidad.

El gasto total del río "Q" es igual a:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots$$

o sea, la suma de los gastos parciales.

Para el aforo de un río debe tomarse todas las precauciones necesarias y hacer las medidas con todo cuidado a fin de obtener resultados correctos.

b) *Levantamiento Topográfico.*

Un levantamiento topográfico completo es esencial para poder hacer el proyecto de construcción; por medio de este levantamiento se puede escoger el lugar exacto en que se erigirá la presa y el sitio más conveniente para la construcción de la casa de máquinas. También por medio de este levantamiento se puede calcular la capacidad del embalse que formará el dique.

El levantamiento topográfico debe abarcar una superficie tal que le permita el estudio completo de las características y accidentes topográficos de la zona en que hay posibilidades de construir la planta. Para hacer el plano topográfico de la región, en primer lugar, es necesario trazar una poligonal cerrada, con precisión de primer orden, escogiendo un caminamiento conveniente y dejando en el terreno marcas inamovibles y fácilmente reconocibles, para este fin se recomienda el uso de prismas de concreto de 0.10 m x 0.10 m x 0.60 m de largo, armados interiormente con una barra de hierro redondo de $\frac{1}{2}$ " ; estos prismas se pueden fundir en el lugar, dejando 0.50 m. bajo tierra y 0.10 m. sobre la superficie del terreno. Después debe correrse una nivelación de 1er. orden cerrada, siguiendo las estaciones de la poligonal; con base de esta nivelación se correrán nivelaciones transversales de segundo orden para obtener las curvas del nivel del terreno. Estas curvas de nivel deben sacarse de metro en metro en los puntos en que pueda hacerse, y cada cinco metros en los sitios de difícil acceso.

c) *Exploración Geológica.*

Considero que una exploración geológica concienzuda es de vital importancia antes de proceder a la construcción de la presa. Es necesario que una comisión de geólogos estudie la naturaleza intrínseca del terreno en que se realizará la obra, pues es necesario conocer la constitución y profundidad de los estratos rocosos, el origen geológico de los mismos y sobre todo su resistencia mecánica a la compresión y tracción, para poder estar seguros de la estabilidad que tendrá la obra proyectada.

Los acantilados que forman el cañón del río Naranjo están formados por estratos de roca, probablemente granítica, que han sido erosionados por el continuo paso de las aguas del río. Es de suponerse que el lecho del río es de constitución rocosa, pero en todo caso es necesario conocer la profundidad del estrato para saber qué garantías ofrece para la cimentación de una presa en ese lugar. La exploración geológica puede decirnos con seguridad si hay riesgo de que sobrevengan o no, filtraciones peligrosas por debajo del dique.

Después de haber hecho un aforo exacto del caudal del río, teniendo ya un plano topográfico completo de la zona y habiendo realizado un estudio geológico concienzudo, puede procederse a escoger el lugar más adecuado para la construcción de la presa, prefiriendo desde luego el punto en que el cañón sea más estrecho (de acuerdo con la exploración realizada, el lugar más estrecho mide 80 metros de orilla a orilla). Después de elegido este lugar, es necesario desecar un tramo del cañón para poder trabajar en la cimentación del dique. En el presente caso será necesario desecar un tramo de 200 metros, 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo del lugar que se haya escogido para la erección de la presa. Para desviar el río es necesario perforar un túnel en uno de los acantilados rocosos que forman el cañón, para que el río corra por él mientras se construye la presa.

El espacio de 200 metros que deberá desecarse en el cañón, estará enmarcado por los "diques auxiliares", uno aguas arriba y otro aguas abajo. Teniendo ya estos diques auxiliares puede forzarse el río a correr dentro del túnel y desecar fácilmente el tramo deseado por medio de un equipo de bombas adecuado.

La perforación del túnel es un trabajo muy delicado, que debe hacerse por medio de explosivos; corrientemente se emplea para esta clase de trabajos dinamita del 60%, aplicando de $\frac{1}{2}$ libra a $\frac{3}{4}$ de libra por metro cúbico de roca, aunque la cantidad exacta de explosivo por metro cúbico sólo puede determinarse conociendo la clase de roca en que se hace la perforación. Conforme se va perforando el túnel es necesario ir colocando un revestimiento de hormigón; este revestimiento es muy importante y debe hacerse no sólo por razones de seguridad durante la perforación sino para evitar derrumbes y filtraciones cuando el río corra dentro del túnel. Además, con el revestimiento de concreto puede dársele al túnel una sección hidráulicamente más favorable. De experiencias que se tienen en esta clase de trabajos, experiencia confirmada por cálculos hidráulicos bastante complejos, se ha encontrado que la sección hidráulicamente más favorable para el túnel será la de herradura con el fondo ligeramente acanalado; con esta sección se logra que la relación entre la sección llena y el perímetro mojado sea muy favorable. Para el cálculo del área que debe tener la sección recta del túnel se puede emplear la fórmula conocida.

$$A = \frac{Q}{V}$$

en la que: $\left\{ \begin{array}{l} A = \text{área de la sección en metros} \\ \text{cuadrados.} \\ Q = \text{gasto en metros cúbicos por} \\ \text{segundo.} \\ V = \text{velocidad media en metros} \\ \text{por segundo.} \end{array} \right.$

La velocidad puede calcularse por la fórmula de Chezy que es:

$$V = C \sqrt{R S}$$

en la que "C" es un coeficiente que depende de la sección transversal, de la rugosidad interior del túnel y de la pendiente.

R = radio hidráulico.

$R = \frac{A}{P}$ perímetro mojado.

S = pendiente.

$S = \frac{H}{L}$; H = desnivel o caída en metros.

L = longitud en metros.

El valor del coeficiente "C" puede determinarse por la fórmula de Kutter, que es:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

n = coeficiente de rugosidad.

El coeficiente de rugosidad "n" puede tomarse según las tablas de "Horton", que dan valores para n de acuerdo con los diferentes materiales de que puede hacerse un canal.

Para aplicar las fórmulas anteriores al caso que nos ocupa, operamos de la siguiente manera:

Procediendo por el método de aproximaciones sucesivas encontramos que la más apropiada es una sección de herradura que tiene una área de 50 metros cuadrados, esta sección tiene un perímetro mojado de 21.2 metros, de donde el radio hidráulico es:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{50}{21.2}$$

$$R = 2.36$$

Necesitamos que la velocidad del agua en el túnel *no* sea mayor de 2 metros por segundo para evitar la erosión del revestimiento de hormigón; para ello debemos poner una pendiente muy suave, y adoptamos:

$$S = 0.00025.$$

Además sabemos, por las tablas de Horton, que para túneles revestidos de hormigón el coeficiente de rugosidad es:

$$n = 0.013.$$

Tenemos ahora datos suficientes para calcular el valor del coeficiente "C":

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{0.00025} + \frac{1}{0.013}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{0.00025}\right) \frac{0.013}{\sqrt{2.36}}}$$

$$C = \frac{23 + 6.2 + 77}{1 + (23 + 6.2) 0.00846}$$

$$C = \frac{106.2}{1.247}$$

$$C = 85$$

Con este valor del coeficiente "C" podemos calcular la velocidad que tendrá el agua dentro del túnel, para las condiciones de pendiente y rugosidad conocidas.

$$V = C \sqrt{R S}$$
$$V = 85 \sqrt{2.36 \times 0.00025}$$
$$V = 85 \times 0.0243$$
$$V = 2.06 \text{ metros por segundo.}$$

Esta velocidad puede aceptarse como correcta, ya que sólo difiere en 6 centésimas de la velocidad máxima prevista.

Conociendo el área de la sección y la velocidad media del agua, podemos fácilmente calcular la cantidad de agua que puede desalojar el túnel, o sea el gasto máximo.

$$Q = A \times V$$
$$Q = 50 \times 2.06$$
$$Q = 103 \text{ metros cúbicos por segundo.}$$

Se dijo en páginas anteriores que durante las grandes crecientes el caudal del río llega como máximo a 100 metros cúbicos por segundo, es decir, que la sección del túnel prevista es muy suficiente para desalojar el agua del río en máxima creciente, evitando que el agua pase sobre el dique auxiliar superior (de aguas arriba de la presa) e invada el lugar de construcción de la presa.

Los diques auxiliares —entre los cuales se hará la desecación con bombas— deben construirse de manera rápida, barata y eficiente. Estas condiciones pueden obtenerse adoptando los diques llamados "de escollera". Los cálculos de estabilidad contra vuelco y presión admisible son innecesarios en esta clase de diques, a causa de los suaves taludes naturales que se extienden según grandes masas. Solamente debe prevenirse contra el deslizamiento para lo cual se impone una base impermeable y firme. Los di-

ques de escollera se construyen con piedra suelta y son, por lo tanto, esencialmente permeables por los huecos libres entre las piedras. Su impermeabilización se obtiene por medio de muros centrales, sustituibles por chapas de acero cubiertas con capas de asfalto o fieltro asfaltado. En algunos casos es más conveniente cubrir el paramento mojado con una losa de hormigón armado.

El perfil del dique es proyectado de acuerdo con reglas sacadas de la experiencia. El talud en contacto con el agua, llamado también "mojado" es por lo común 2 a 1 y la pendiente en el talud seco se toma generalmente 1 a 1. El coronamiento del dique debe ser más elevado que las máximas olas del embalse lleno, puesto que su único tipo de construcción es como insumergible. La altura de las olas depende de la longitud del embalse, o sea, del largo de su venida. Es corriente el uso de la fórmula de Stephenson:

$$H = 1.5 \sqrt{F} + (2.5 - \sqrt{F})$$

en la cual: H = altura de la ola en pies.

F = distancia de formación en millas.

El coronamiento debe tener un ancho mínimo de 3 metros y elevarse como mínimo 1.5 metros sobre el nivel de las más altas aguas.

2) QUE COMPRENDE LA PARTE QUE SE REFIERE A LA RESISTENCIA DE MATERIALES O ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

Abordamos ahora el punto principal del proyecto de construcción, pues de éste depende la vida y buen funcionamiento de la planta que se proyecta. Este punto clave es el estudio de la presa de 35 metros de altura. Sobre este asunto

hay que decidir en primer lugar qué tipo de presa es más adecuado, qué materiales deben usarse y en qué forma debe llevarse a cabo la construcción.

En mi opinión sería conveniente la construcción de un dique de los llamados "de bóveda". Estos diques presentan la ventaja de rápida ejecución. La presión del agua es resistida por la acción de la bóveda y como muro de sostenimiento. En los cálculos es suficiente considerar la primera como excluyente de la segunda, partiendo de la fórmula:

$$e = \frac{RP}{f}$$

En la cual:

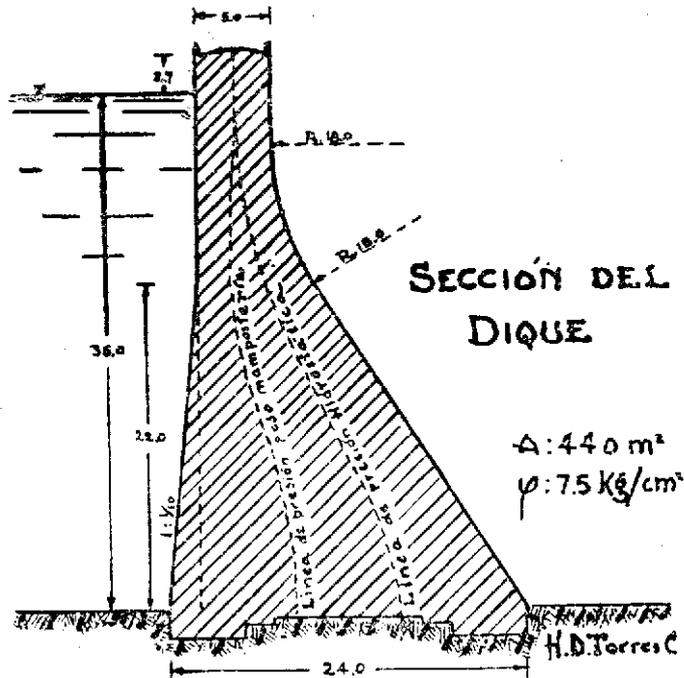
- e = espesor en metros en el punto considerado
- R = radio del dique en metros.
- P = Presión del agua en el punto considerado, en toneladas por metro cuadrado.
- f = esfuerzo admisible del material en toneladas por metro cuadrado.

Para mayor radio se tiene mayor espesor, en cambio disminuye la longitud de la obra. Jorgensen demostró que la máxima economía de material se obtiene con un ángulo de 133° 15'. En la práctica se llega a 120°.

Como el desarrollo del coronamiento es siempre mayor que al pie por tener las quebradas forma de "V", es necesario disminuir el radio desde la cresta para obtener el dique llamado de "ángulo constante".

La suposición de que la presión hidrostática es resistida sólo por la acción de la bóveda es aproximada; en realidad una fracción del empuje hidrostático es tomado por el muro vertical actuando como viga empotrada en la base. Es difícil determinar su valor por el análisis y su efecto es

recargar el esfuerzo de la parte superior de la presa. Su influencia queda anulada por el espesor que se dá en la práctica al coronamiento, que teóricamente puede ser nulo. Resal y Guidi han publicado estudios completos sobre la teoría de los diques de bóveda.



El material que debe usarse de preferencia en la construcción de la presa es el hormigón; la mezcla más recomendable es 1:2.25:4.5 teniendo mucho cuidado al seleccionar la clase de arena y pedrín que se debe emplear. La arena a usar debe ser de origen granítico de preferencia, y su granulometría debe ser tal que el diámetro de los granos esté comprendido de 0.5 mm. a 5 mm. Si la arena disponible contiene materia orgánica, adherida a los granos, es con-

veniente someterla a un lavado a presión antes de llevarla a la hormigonera.

El pedrín que se use debe tener diámetros de 50 a 100 mm. y debe ser piedra partida; no cantos rodados porque en ellos el mortero no se adhiere bien.

El cemento que debe usarse en la construcción de la presa debe ser rico en silicato dicálcio, porque esta clase de cemento no produce mucho calor de fraguado y por consiguiente se disminuye el riesgo de que aparezcan grietas en la presa. Es conveniente que el cemento que se emplee sea de fraguado lento, para dar tiempo a que se difunda el calor de fraguado. El paramento mojado del dique debe revestirse con una mezcla rica de cemento y arena para impermeabilizar completamente la obra.

Un detalle muy importante en la construcción de la presa es el de los aliviadores, que tienen por objeto dar salida a las crecientes que puedan comprometer su solidez. La insuficiencia de aliviadores ha sido la causa de muchos descalabros ocurridos en presas.

Los aliviadores pueden ser vertederos de superficie libre o con compuertas, sifones o descargadores. Para el caso del dique sobre el río Naranjo creo más conveniente colocar aliviadores-vertederos, provistos de compuertas de funcionamiento automático, que sólo entran en función cuando el embalse ha subido a su nivel máximo.

Además de los aliviadores, se construirán túneles de fondo, que atraviesan la base del dique y que sirven para dar salida a la arena que se acumule en el embalse y también para limpieza general del pantano, cuando sea necesario. Estos túneles estarán provistos de compuertas de diseño especial, para resistir la presión hidrostática, y se abrirán cuando haya crecientes en el río para ayudar la función de los aliviadores. El cálculo de un túnel de fondo se hace partiendo de la teoría de los orificios en pared gruesa, y acueductos a presión, y su sección total (suma de las secciones

de todos los túneles) debe calcularse para desalojar el gasto normal del río.

En el dique deben hacerse obras de toma, que serán objeto de estudio especial, desde donde parte el tubo de presión que alimentará las turbinas.

La tubería empleada para conducir el agua de un depósito o toma a las turbinas de una planta hidroeléctrica se llama tubería de presión. La carga neta sobre la turbina es igual a la carga estática, menos las cargas por fricción, entrada y velocidad. A causa de los resultados altamente destructores que podrían ocurrir si acaso fallara una sección de la tubería de presión, estos tubos se calculan por lo regular con un amplio margen de seguridad, es muy importante considerar en los cálculos el golpe de ariete originado por un cierre brusco de las válvulas de las turbinas.

Los tubos de presión están hechos generalmente de láminas de acero remachadas longitudinalmente o en sentido circular.

La fórmula de Scobey para cálculo de tuberías de presión es:

$$Q = \frac{3.31 H^{0.53} \times D^{2.58}}{10^6 K^{0.53}}$$

En la cual:

Q = gasto en metros cúbicos por segundo.

H = pérdida de carga en metros por 1,000 metros.

D = diámetro del tubo en centímetros.

K = constante que varía con la clase de tubo.

El valor del coeficiente "K" ha sido calculado en tablas de donde sacamos los siguientes valores:

K = 0.38 para tubo de lámina hasta de 3/16", completamente remachado.

K = 0.34, para tubo nuevo remachado transversalmente.

$K = 0.32$, tubería con uniones atornilladas.

La fórmula de Scobey puede escribirse así:

$$V = 0.0421 \times \frac{H^{0.53} D^{0.58}}{K^{0.53}}$$

en la cual "V" es la velocidad del agua en el interior del tubo, medida en metros por segundo.

O bien:

$$H = \frac{K \times V^{1.9}}{D^{1.1}} \times 410.$$

"H" es la pérdida de carga en metros por 1,000 metros, la cual nos permite deducir la pérdida de carga para una longitud de tubería dada.

El cálculo de la tubería debe hacerse tomando $Q = 22$ metros cúbicos por segundo, con objeto de poder "tapar los picos" en las horas de mayor consumo de energía eléctrica, con este gasto se pueden cubrir picos hasta de 6,000 K. W.

Con la tubería de presión llegamos a la Casa de Máquinas, que es el lugar en que se montarán las turbinas, los generadores, los tableros de controles y los transformadores.

La casa de máquinas debe ser un edificio adecuado al fin que se le destina y de dimensiones suficientemente grandes para dar cabida a todas las máquinas y aparatos que se instalen. El edificio para máquinas debe tener grandes ventanales que permitan una buena iluminación diurna y la ventilación necesaria. Para la construcción del edificio se preferirá el hormigón armado, con cimentación muy firme para soportar la vibración a que estará sujeto. El techo debe hacerse con armaduras de acero calculadas para soportar la fuerte sobrecarga de la grúa móvil, que es indispensable en una casa de máquinas.

La arquitectura del edificio para máquinas debe ser sobria y elegante, partiendo de la base de un proyecto arquitectónico eminentemente funcional. El presupuesto se aumenta en muy poco más si se dá una buena apariencia exterior a la casa de máquinas; debe recordarse que la apariencia es un factor muy importante, que aumenta el valor de cualquier edificio.

Para las fundaciones de las máquinas, como se desea evitar toda vibración, el basamento se coloca sobre una cama de arena seca y limpia; la arena no puede escaparse porque se coloca dentro de un cajón de concreto, evitando así que haya asentamiento de las máquinas. Es conveniente colocar una chapa de cobre entre el basamento de la máquina y la arena. Mientras más pesado es el cimiento menos es la vibración; se recomienda hacer cimentaciones de 50 kilogramos de peso por cada caballo de fuerza, para motores de 3,000 a 5,000 caballos; esto se aplica cuando se tiene que hacer fundaciones de maquinaria en terrenos suaves, siendo conveniente hacer en cada caso el ensayo de la resistencia mecánica del suelo.

3) QUE COMPRENDE LA PARTE DE MAQUINARIA HIDRAULICA Y ELECTROTECNIA

Los motores hidráulicos son máquinas construídas para transformar la energía hidráulica en energía mecánica. La transformación de la energía se verifica cuando el agua, convenientemente dirigida y a velocidad suficientemente grande, entra en un rodete especialmente diseñado obligándolo a tomar un movimiento de rotación; este movimiento rotativo se transmite a un eje motriz de donde puede aprovecharse como trabajo útil.

En las turbinas hidráulicas el agua puede entrar de dos maneras: por todo su contorno, llamándose entonces "Turbinas de Admisión Total"; o por sólo una parte del contorno, en este caso se llaman "Turbinas de Admisión Parcial". En el primer caso el mecanismo director está constituido por una corona directriz y en el segundo caso por una tobera.

De la experiencia en maquinaria hidráulica se ha encontrado que para saltos pequeños es conveniente usar turbinas de reacción de admisión total (turbinas Francis y turbinas Kaplan o de hélice), mientras que para saltos muy grandes es más conveniente el uso de turbinas de acción de admisión parcial (ruedas Pelton).

La hidroeléctrica sobre el río Naranjo podrá soportar una carga normal de 5,500 kilovatios; considerando que las máquinas pueden soportar una sobrecarga hasta del 10 por ciento, tendremos entonces una carga máxima de 6,050 K. W. Las turbinas que se instalen deben ser capaces de tomar la carga máxima.

Potencia máxima = 6,050 Kilowatios.

$$\begin{aligned} & 6,050 \\ & \text{---} \\ & 0.736 \\ & = 8,220 \text{ Caballos de fuerza.} \end{aligned}$$

Es decir, que las turbinas hidráulicas deben poder desarrollar en conjunto 8,220 caballos, por lo menos.

Creo que para el presente caso es conveniente la instalación de *tres grupos electrógenos* que puedan trabajar simultáneamente, para dar en total la energía eléctrica que se necesita:

1er. Grupo:

Generador de 2,500 kilowatios, accionado por una turbina de 3,500 caballos de fuerza.

2º Grupo:

Generador de 2,500 kilowatios, accionado por una turbina de 3,500 caballos de fuerza.

3er. Grupo:

Generador de 1,000 kilowatios, accionado por una turbina de 1,500 caballos de fuerza.

Tendremos en total 6,000 kilowatios y 8,500 caballos de fuerza desarrollados por las turbinas.

Durante el funcionamiento normal de la planta trabajarán sólo los dos generadores de 2,500 K. W., dejándose el generador de 1,000 K. W. para cuando sea necesario hacerlo funcionar por razones de carga extraordinaria.

Conviene ahora decidir qué tipo de turbinas es más conveniente instalar en la hidroeléctrica del río Naranjo. La decisión podemos hacerla únicamente de acuerdo con los resultados que se obtengan del cálculo matemático.

En el análisis se parte de las fórmulas básicas de las turbinas hidráulicas, que son:

$$Q^1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} \therefore Q = Q^1 \sqrt{H} \dots (1)$$

$$n^1 = \frac{n}{\sqrt{H}} \therefore n = n^1 \sqrt{H} \dots (2)$$

$$(CF)^1 = \frac{CF}{H \sqrt{H}} \therefore CF = (CF)^1 H \sqrt{H} \dots (3)$$

$$Ns = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{CF}{\sqrt{H}}} \therefore n = Ns H \sqrt{\frac{\sqrt{H}}{CF}} \dots (4)$$

en las cuales:

Q^1 = gastos en metros cúbicos por segundo para 1 metro de altura.

Q = gasto en metros cúbicos por segundo para H metros de altura.

- H = altura de la caída, en metros.
 n^1 = revoluciones por minuto para 1 metro de altura.
 n = revoluciones por minuto para H metros de altura.
 CF = caballos de fuerza para H metros de altura.
 $(CF)^1$ = caballos de fuerza para 1 metro de altura.
 Ns = velocidad específica.

Para las turbinas que accionan los generadores de los grupos primero y segundo tenemos los siguientes datos:

- n = 600 revoluciones por minuto.
 CF = 3,500 caballos por minuto.
 H = 35 metros.

Con estos datos investigaremos la velocidad específica que deben tener las turbinas de los grupos electrógenos 1º y 2º.

$$Ns = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{CF}{VH}}$$

$$Ns = \frac{600}{35} \sqrt{\frac{3,500}{V35}}$$

$$Ns = 17.15 \sqrt{\frac{3,500}{5.92}}$$

$$Ns = 17.15 \times 24.35$$

$$Ns = 417 \text{ r.p.m.}$$

En este caso es necesario usar turbinas de tipo "FRANCIS" rápida (alta velocidad) con Ns 417, que es lo adecuado para alturas de 35 metros con el gasto, la velocidad y la potencia indicados.

Para la turbina del grupo 3º tenemos los datos siguientes:

$n = 900$ revoluciones por minuto.

$CF = 1,500$ caballos de fuerza.

$H = 35$ metros.

Con estos datos calculamos la velocidad específica "Ns" que debe tener la turbina:

$$Ns = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{CF}{VH}}$$

$$Ns = \frac{900}{35} \sqrt{\frac{1500}{V_{35}}}$$

$$Ns = 25.71 \sqrt{\frac{1500}{5.92}}$$

$$Ns = 25.71 \times 15.95$$

$$Ns = 410 \text{ r.p.m.}$$

Lo cual nos dice que para este caso se necesita una turbina de tipo "Francis" rápida (alta velocidad) con $Ns = 410$.

Resumiendo, para accionar los generadores de la planta necesitamos:

2 Turbinas: Francis, de rodete rápido.

$Ns = 417 \text{ r. p. m.}$

$n = 600 \text{ r. p. m.}$

$H = 35 \text{ metros.}$

$CF = 3,500 \text{ caballos de fuerza.}$

1 turbina: Francis, de rodete rápido.

$$N_s = 410 \text{ r. p. m.}$$

$$n = 900 \text{ r. p. m.}$$

$$H = 35 \text{ metros.}$$

$$CF = 1,500 \text{ caballos de fuerza.}$$

Estas turbinas deberán estar provistas de regulador automático, para que los generadores puedan sostener el voltaje durante las fluctuaciones de carga.

Tubo de Succión. Queda a la salida de la turbina; tiene su parte inferior sumergida, por lo cual produce una aspiración la que sumada a la presión inicial da la altura total de caída.

Teóricamente el tubo de succión puede tener una longitud máxima de 10.33 metros pero en la práctica se recomienda no pasar de 7 metros al nivel del mar.

Para el cálculo de la altura del tubo de succión, se recomienda el uso de la siguiente fórmula:

$$H_{sp} = H^1 - K^1 h$$

en la cual:

H^1 = presión barométrica
en unidades de columna de agua (metros).

h = altura de caída sobre la turbina (metros).

K^1 = coeficiente de "Cavitación".

El coeficiente de cavitación se busca en tablas o gráficos y está en función de la clase de turbinas y de la velocidad específica " N_s ".

Diremos ahora algo sobre los generadores, sus características y el tipo más apropiado para la presente instalación.

El generador es una máquina rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Este proceso se debe a la acción recíproca que hay entre un campo magnético y un conductor en movimiento.

Un generador eléctrico está formado de dos partes esenciales: el rotor y el estator. El "rotor" (parte que gira) lleva generalmente, los polos con el devanado inductor, al cual llega la corriente de la excitatriz por escobillas fijas y anillos de contacto. El "estator" lleva corrientemente (en ranuras hechas en el hierro) el devanado inducido. Esta disposición tiene la ventaja, especialmente cuando se trata de grandes voltajes, de que permite aislar mejor el devanado del inducido y de que evita anillos de contacto para altas tensiones. La corriente de excitación se toma de una máquina auxiliar llamada excitatriz.

Para la generación de la energía eléctrica se emplean casi exclusivamente "alternadores sincrónicos" trifásicos en las centrales de fuerza, en ellos la regulación del voltaje es fácil y se puede adaptar automáticamente a las variaciones del consumo de corriente devatiada. En grandes instalaciones cada generador lleva su excitatriz directamente acoplada, con esto se logra una alimentación más corta, más segura y más sencilla del generador; además la regulación del voltaje puede hacerse mediante reguladores pequeños de precisión (en el campo de la excitatriz) y reguladores más sencillos, con pocos "puntos" de resistencia, en el circuito de excitación del alternador.

Es muy deseable que las turbinas estén directamente acopladas a las alternadores, ya que de esta manera se evitan fajas o engranajes. Por lo tanto, los alternadores deberán trabajar a la misma velocidad angular de las turbinas.

He dicho que en la hidroeléctrica del río Naranjo conviene instalar tres grupos electrógenos, de los cuales el 1º

y 2º tendrán generadores de 2,500 K. W. y el 3º tendrá generador de 1,000 K. W. De los cálculos hechos para las turbinas encontramos que las unidades 1ª y 2ª trabajarán con 600 r. p. m. y la 3ª con 900 r. p. m. Sabiendo de antemano que la frecuencia en los tres generadores será de 60 ciclos por segundo, podemos calcular el número de pares de polos que deben tener los generadores; para esto usamos la fórmula:

$$p = \frac{60 f}{n}$$

en la cual:

p = número de pares de polos del alternador.

f = frecuencia de la corriente alterna.

n = revoluciones por minuto a que marcha el alternador.

aplicando esta fórmula para los alternadores de los grupos 1º y 2º, tenemos:

$$p = \frac{60 \times 60}{600}$$

p = 6 pares de polos en el rotor.

y para el alternador del grupo 3º:

$$p = \frac{60 \times 60}{900}$$

p = 4 pares de polos en el rotor.

Resumiendo, para la instalación de la planta hidroeléctrica sobre el río Naranjo necesitamos generadores de las siguientes características:

2 alternadores sincrónicos,

trifásicos
2,500 Kilowatios
6 pares de polos en el rotor
60 ciclos
excitatriz directamente acoplada, y
regulador automático del voltaje.

1 Alternador sincrónico,

trifásico
1,000 Kilowatios.
4 pares de polos en el rotor
60 ciclos
excitatriz directamente acoplada, y
regulador automático de voltaje.

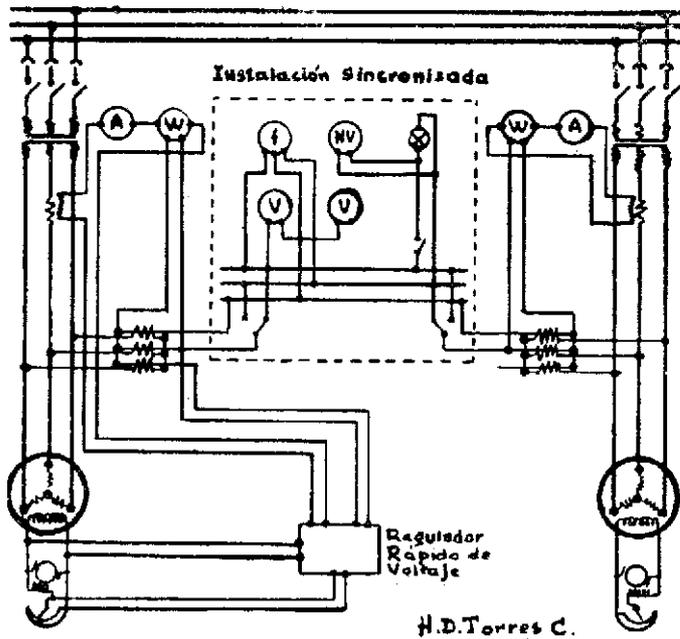
Estos generadores deben tener dispositivos especiales a manera de poder acoplarlos para trabajar en paralelo. Es muy recomendable el acoplamiento automático, pues en este caso basta solamente poner en marcha las máquinas motrices; es especialmente ventajoso cuando se desea una conexión rápida.

La energía generada en la hidroeléctrica del río Naranjo será enviada a cortas y largas distancias —este punto se discutirá en el capítulo siguiente (“Destino que puede darse a la energía eléctrica producida”)— por lo tanto en la central debe haber dos tensiones, cada una con su sistema de barras colectoras y enlazadas por medio de transformadores; la baja tensión alimentará las zonas de consumo próximas a la planta y la alta tensión tramitará energía a larga distancia.

Las máquinas se conectarán, por medio de interruptores en aceite y de cuchillas de seccionamiento, a las barras colectoras, de las cuales parten las líneas de alimentación en el número necesario; estas líneas deben tener también sus interruptores de aceite y seccionadores.

Cuando trabajen los dos alternadores de 2,500 Kilowatios, se conectarán en paralelo según el esquema siguiente:

DOS ALTERNADORES TRABAJANDO EN PARALELO



- A: Amperímetro
- V: voltímetro
- f: frecuencímetro
- W: Kilovatímetro
- NV: voltímetro a cero.

El esquema normal, representado en la figura, se refiere a dos generadores trabajando en paralelo con máquinas excitatrices montadas en el mismo eje, y regulador rápido de tensión; el regulador de voltaje puede conectarse en cualquiera de las dos máquinas. Para sostener la tensión deseada en las barras colectoras, basta por lo general la regulación automática de la tensión de una de ellas. En el esquema no aparecen los aparatos de protección de máquinas y líneas.

Para la conexión en paralelo del tercer generador (el de 1,000 K. W.) se necesitará una instalación similar al esquema anterior.

Después de pasar por los tableros de controles e interruptores, la corriente eléctrica debe pasar por los transformadores antes de salir a las redes de distribución. Los transformadores se instalarán de la capacidad y voltaje que sea necesario, lo cual se decidirá en vista de la distancia a que debe enviarse la corriente y de la cantidad de energía que haya de transmitirse.

IV) DESTINO QUE PUEDE DARSE A LA ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA Y ANALISIS ECONOMICO DE LA OBRA

Un punto muy importante de la presente discusión, es el destino que puede darse a la energía eléctrica que se producirá en la planta del río Naranjo. En mi opinión el mejor empleo que puede y debe darse a la energía generada es en la electrificación de la zona sudoccidental de la República. Se hace ya necesaria la construcción de una planta eléctrica en Occidente, pues actualmente sólo tenemos la planta de Santa María, que es la más grande, y algunas plantas pequeñas locales.

La "Hidroeléctrica del Estado" (Santa María), se encuentra en un estado tal que es incapaz de dar servicio satisfactorio; continuamente hay interrupciones que se deben unas veces a las crecientes del río, otras veces a reparaciones en las turbinas, en los generadores, en las líneas, etc.; de manera que muchos de los habitantes de las poblaciones servidas por la Hidroeléctrica del Estado tienen que recurrir a pequeñas plantas de gasolina, para tener por lo menos alumbrado eléctrico cada vez que de Santa María les anuncian una suspensión del servicio, que generalmente dura varios días. Por otra parte, la planta de Santa María, que solamente genera 1,500 K. W., se encuentra ya sobrecargada, de manera que cualquier servicio nuevo que se conectare sólo aumentaría el mal funcionamiento en general. En la planta de Santa María se tienen fuertes pérdidas de energía en la transmisión, debido a que varias de las líneas son

de alambre de hierro y al uso de voltajes inadecuados para transmisión. Por todas estas razones crea que la planta hidroeléctrica de Santa María debe reacondicionarse completamente en un futuro próximo, aumentando su capacidad y corrigiendo todos los defectos que tiene en la transmisión y distribución. De no hacerse estos trabajos, es preferible abandonar la planta.

De las otras plantas que existen en la zona occidental, como ya se dijo, son plantas pequeñas, de 100 a 150 Kilowattios; como se sabe, toda planta pequeña da por lo general un servicio irregular y además, por el hecho de ser plantas pequeñas, los gastos de mantenimiento son relativamente altos y por tanto, el servicio es caro para los consumidores.

De las consideraciones anteriores se deduce que es de importancia vital para el progreso y desarrollo de la República, la instalación de una planta hidroeléctrica de suficiente capacidad en la zona occidental del país. Para la electrificación de esta zona quedaría especialmente bien colocada la planta del río Naranjo, puesto que se encontraría situada a inmediaciones de una población de bastante sonsumo (Coatepeque) y en el centro de la zona sudoccidental, con esta planta se pueden servir poblaciones de los departamentos de Quezaltenango, San Marcos, Retalhuleu, Totonicapán, Suchitepéquez y Sololá. De la planta deberán salir líneas de distribución a voltajes apropiados (por ejemplo 40,000 voltios para las poblaciones más distantes) que vayan a los centros de consumo más importantes (las cabeceras departamentales), con ramales secundarios para las poblaciones menos importantes, beneficios, ingenios y fincas en general.

La distribución de la energía eléctrica, de acuerdo con las necesidades presentes, y hasta dentro de un futuro próximo, puede estimarse como sigue:

Quezaltenango	1,600	Kilowatios
San Pedro Sac.	150	"
San Marcos	150	"
Retalhuleu	400	"
Totonicapán	100	"
Sololá	100	"
Mazatenango	150	"
Coatepeque	150	"
Ocós	30	"
Champerico	50	"
Ayutla	50	"
Pajapita	20	"
San Rafael Pie de la Cuesta	20	"
Colomba	30	"
Nuevo San Carlos	20	"
Chicacao	20	"
Patulul	50	"
San Francisco El Alto	20	"
Panajachel	150	"
Poblaciones que rodean al Lago de Atitlán	150	"
15 poblaciones pequeñas, con 10 K.W. c/u.	150	"
Suma:	3,560	K. W

De la lista anterior, la cual se ha llenado con datos aproximados, se depende que la planta hidroeléctrica del río Naranjo trabajará con una carga máxima de 3,500 K. W. como esta planta tendrá una capacidad máxima de 5,500 K. W. aún sobran 2,000 K.W., que es necesario emplear en alguna forma productiva y de interés para el progreso del país. He pensado que la mejor forma de emplear esa energía es en una planta de abono artificial nitrogenado. Para esta planta de abono pueden destinarse 1,000 K. W., dejando el resto de 1,000 K. W. como reserva de la planta y además

para que las máquinas generadoras no trabajen constantemente a su capacidad máxima.

Esta planta de abono artificial nitrogenado puede montarse fácilmente a inmediaciones de Coatepeque; el factor más importante para esta clase de fábricas es tener a disposición suficiente cantidad de energía eléctrica y a bajo precio. Ambas condiciones se logran con el proyecto hidroeléctrico del río Naranjo.

Dada la gran importancia que tendría para la agricultura y economía en general de Guatemala la producción de abonos artificiales en gran escala, daré algunos datos sobre la fabricación de abonos nitrogenados.

La fabricación de abonos artificiales nitrogenados parte de la obtención del nitrógeno líquido por medio de la destilación fraccionada del aire líquido. Antes de licuar el aire se le da un lavado con legía de potasa, con objeto de retener el anhídrido carbónico que siempre contiene; después se hace pasar el aire, con una pureza de 99.5%, por máquinas especiales en las cuales es comprimido y enfriado hasta su licuefacción completa. Una vez obtenido el aire líquido se procede a su destilación fraccionada. En los métodos más corrientemente empleados se hace uso de los diferentes puntos de ebullición del oxígeno y nitrógeno, para separar estos dos gases, que son los que forman el aire casi en su totalidad (los gases raros están en proporción de menos del 1% en el aire). La variación que experimenta el punto de ebullición del oxígeno líquido al variar la presión tiene gran importancia industrial, porque al aumentar la presión se hace simultáneamente mayor el intervalo que existe entre los puntos de ebullición del oxígeno y del nitrógeno (Oxígeno: -183° C y nitrógeno: -195.67° C a 760 mm.); esto simplifica la descomposición del aire en oxígeno puro y nitrógeno impuro como residuo, lo mismo que la obtención del oxígeno puro y nitrógeno líquido puro por nueva licuefacción del resto gaseoso impuro. De manera que en la fábrica se obtendría al mismo tiempo abono nitrogenado y oxígeno líquido puro, que tiene múltiples aplicaciones.

Después de obtenido el nitrógeno puro debe procederse a su fijación, a manera de obtener una substancia que pueda utilizarse como abono. Para la fijación del nitrógeno hay varios métodos industriales, de los cuales yo creo que es más conveniente para este caso la fijación en hidróxido de calcio Ca (OH)_2 , transformándolo después en "Calciocinamida", que es un excelente abono. Existe otro procedimiento industrial para transformar el nitrógeno en urea sintética, que se ha usado en los últimos años en la agricultura (en E.E. UU.) con magníficos resultados.

Para estimar la producción anual que tendría la fábrica de abono nitrogenado podemos aceptar el dato de E. K. Skott, quien después de largos experimentos llegó a la conclusión de que:

Con I. K. W.-año pueden obtenerse hasta 700 Kgs. de nitrógeno combinado.

Partiendo de aquí y admitiendo que tenemos 1,000 K.W. disponibles para la fábrica de abono, podemos establecer que la producción de la fábrica sería de 2,800 toneladas métricas de abono nitrogenado por año. La venta del abono, aun a precio bastante bajo, sería suficiente para cubrir los gastos de producción y aun dejar una ganancia considerable. La producción de abono sería capaz de abastecer a todos los agricultores de Guatemala y aun permitiría la exportación hacia los demás países de Centroamérica, ya que la demanda de abonos nitrogenados aumenta constantemente.

Antes de cerrar este capítulo quiero dar algunas consideraciones de orden económico con el fin de demostrar que la construcción de la planta hidroeléctrica sobre el río Naranjo sería una inversión beneficiosa para cualquier compañía o sociedad por acciones que acometiera la empresa. El Gobierno de la República también podría realizar la instalación, aunque más bien con miras de establecer un servicio público y de mejoramiento social que como un negocio, porque como es bien sabido en cualquier parte del mundo el gobierno es muy mal administrador. También

podría llevarse a cabo la obra de la siguiente manera: el gobierno hace la instalación completa para darla luego en arrendamiento a una compañía particular, quen se encargaría de la explotación del negocio.

Este análisis económico que propongo hacer comprende primero el costo global de la obra, luego un cálculo sobre la entrada bruta anual por concepto de venta de energía, para deducir después la ganancia neta anual.

Hago notar que como en Guatemala no se tiene ninguna experiencia sobre costos para una planta hidroeléctrica grande, los precios anotados a continuación son tomados de experiencias de otros países, habiendo hecho las modificaciones pertinentes en la estimación de precios; por ejemplo: el valor de las maquinarias y materiales ha sido aumentado por los pagos de fletes y derechos aduanales, en cambio se ha disminuído el valor de la mano de obra, que aquí es bastante bajo.

COSTO DE LA OBRA COMPLETA

Levantamientos y exámenes preliminares	Q.	20,000.00
Valor de tierras sumergidas		40,000.00
Presa de hormigón		500,000.00
Túnel de descarga		200,000.00
Compuerta para la presa y para el túnel de emergencia		10,000.00
Diques auxiliares (de escollera)		80,000.00
Obras de toma y tubo de presión		30,000.00
Casa de máquinas		300,000.00
Maquinaria hidráulica		160,000.00
Maquinaria y Aparatos Eléctricos		170,000.00
Líneas de transmisión		250,000.00
Subestaciones		60,000.00
Suma	Q.	1,820,000.00
Planta de Abono artificial		675,000.00
	Q.	2,495,000.00
Redondeando la cifra	Q.	2,500,000.00

O sea que el valor estimativo de la obra completa es de *dos millones y medio de quetzales*, incluyendo el valor de la planta de abono artificial nitrogenado.

Ingresos anuales:

Asumiendo que la planta hidroeléctrica tenga normalmente una carga media de 3,000 K.W., se obtendría una producción de 26.000,000 de kilowatios-hora por año. Si esta cantidad se vende al precio mínimo (en promedio) de 2 y 1/2 centavos el K.W.-h. se tendría:

$26.000,000 \times 0.025 = Q.650,000.00$ de entrada bruta por año. De esta suma tenemos que restar los gastos de operación, mantenimiento y amortización de la planta (amortizable en 15 años) y el interés legal del capital invertido, para encontrar la utilidad neta anual:

Egresos anuales:

Gasto de operación y mantenimiento	Q. 35,000.00
Amortización de la planta (término de 15 años)	165,000.00
Interés legal (6%) del capital invertido	150,000.00
	<hr/>
Suma	Q. 350,000.00

Utilidad anual:

Restando los egresos de la entrada bruta tenemos:

Entrada bruta anual	Q. 650,000.00
Egresos anuales	350,000.00
	<hr/>
Utilidad	Q. 300,000.00

O sea, que la planta produciría una utilidad neta anual de *trescientos mil quetzales*.

Lo cual indica que la instalación de la Planta hidroeléctrica del río Naranjo, sería un éxito económico completo.

NOTA.—En empresas de esta índole se considera suficiente con obtener como utilidad el interés legal del capital invertido.

CONCLUSIONES

- 1^a—Teniendo en Guatemala tantas caídas de agua que pueden aprovecharse para fines de electrificación, deben preferirse las plantas hidroeléctricas a cualesquiera otras, ya que la potencia hidráulica es la fuente de energía eléctrica más barata que se conoce hasta hoy; siendo muy sensible que se permita a compañías extranjeras la instalación y explotación de plantas termoeléctricas, puesto que es el público consumidor, el pueblo de Guatemala, quien paga la diferencia. Además, el dinero invertido en comprar combustible sale del país.
- 2^a—El río “Naranjo” ofrece posibilidades excepcionalmente buenas para la construcción de una planta hidroeléctrica. Sus características topográficas, su caudal, la limpieza de sus aguas y la firmeza del subsuelo permiten la construcción de una obra sólida, segura y de larga duración.
- 3^a—La Zona sudoccidental de la República, en donde se encuentran ciudades y poblaciones muy importantes, productora de gran parte de los artículos que consume y exporta Guatemala, debe tener un lugar preferente en un programa de electrificación del país. En esta zona se hace sentir ya la necesidad de una planta eléctrica grande que venga a desplazar a la “Hidroeléctrica del Estado” y a todas las demás plantas pequeñas, que en general dan mal servicio y caro.

- 4ª—La planta hidroeléctrica del río Naranjo se encontraría situada en un lugar especialmente a propósito para la electrificación de la zona sudoccidental. El lugar escogido en el proyecto queda a 3 kms. de Coatepeque, a 50 Kms. de Quezaltenango y a 33 Kms. de Retalhuleu; es decir, que la central estaría situada en el corazón del distrito de consumo. Por otra parte, Coatepeque está cruzada por carreteras y línea ferroviaria, lo cual facilitaría mucho el transporte de materiales y maquinaria hasta el mismo lugar de la obra.
- 5ª—La planta hidroeléctrica del río Naranjo vendría a llenar un gran vacío que existe en las ciudades y poblaciones de Occidente por falta de energía eléctrica. Muchas industrias han dejado de establecerse y casi todas las ya establecidas tienen que recurrir a motores diesel y de gasolina para suplir esta escasez de fuerza motriz; ya no digamos las molestias y penalidades que sufren los consumidores particulares con las deficiencias del servicio eléctrico. Problemas todos éstos, que urge resolver.
- 6ª—En el capítulo IV he previsto la posibilidad de instalar una fábrica de abono nitrogenado con el excedente de energía eléctrica producida en la planta del río Naranjo. Creo que con esta fábrica se daría un fuerte impulso y se incrementaría la agricultura nacional. Ya que Guatemala dice ser un país netamente agrícola, que lo demuestre bastándose a sí mismo con abundantes cosechas. Estas abundantes cosechas pueden lograrse abonando las tierras cansadas, para lo cual se necesita abono artificial en grandes cantidades y a bajo precio. La planta del río Naranjo satisfaría esas condiciones.
- 7ª—Según se probó con números en el capítulo precedente, la construcción de la planta hidroeléctrica sobre el río Naranjo no es una aventura financiera sino que por el

contrario puede convertirse en lucrativa empresa. Lo que falta en Guatemala, es hacer que el pequeño capitalista tenga confianza en las sociedades por acciones, que es a mi modo de ver la mejor forma de financiar la obra.

8ª—Electrificar Guatemala, pero electrificarla de una manera consciente, honrada y sin miras políticas. Electrificar Guatemala para incrementar su agricultura, su comercio y su industria, eso es HACER PATRIA.

Revisada y encontrada de conformidad.

Vº Bº,
Ing. Federico Kurt Billeb.

Imprimase:
Ing. Juan Luis Lizarralde,
Decano Interino.

BIBLIOGRAFIA

Breadsley.—Hydroelectric Plants.

Hütte.—Manual del Ingeniero.

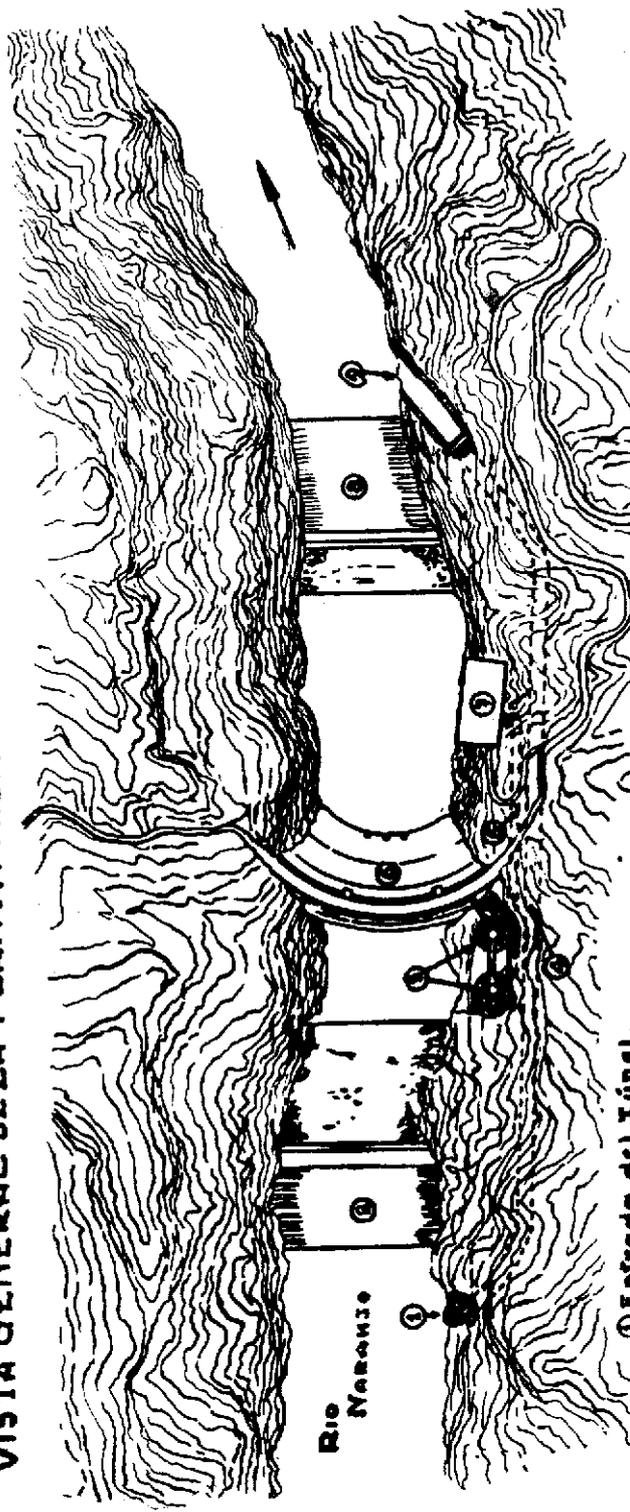
H. Dubbel.—Taschenbuch Für Den Maschinenbau.

Mansfield Merriman.—Treatise on Hydraulics.

Manuel Sallovitz.—Tratado de Ingeniería Sanitaria.

Ullmann.—Enciclopedia de Química Industrial.

VISTA GENERAL DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA EN EL RIO NARANJO.



Rio Naranjo

- ① Entrada del Túnel.
- ② Dique Auxiliar Superior.
- ③ Obras de Toma.
- ④ Túnel de Desviación.
- ⑤ Tubería de Presión.
- ⑥ Dique Principal.
- ⑦ Casa de Máquinas.
- ⑧ Dique Auxiliar Inferior.
- ⑨ Boca de descarga del Túnel.

Héctor David Torres G.