



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA,
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL

“CONSTRUCCIÓN DE PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA EN PARQUE ECOLÓGICO CHAPULTEPEC CUERNAVACA, EN CUERNAVACA MORELOS”

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

GUILLERMO CARMONA GONZÁLEZ

SINODAL:

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

MÉXICO, D. F.

MAYO DE 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A Dios, por darme la oportunidad de vivir esta experiencia.

A mis Padres, por su amor, sacrificio, paciencia y estar ahí dispuestos a apoyarme todo el tiempo.

A mis Hijos:

Eloy, por tú fortaleza, buen humor, alegría y ser mi orgullo.

Carolina, porque eres la bendición que Dios me ha dado y la fuente de mi inspiración.

A mis Sinodales, por ser parte primordial para la consecución de este proyecto.

A mis Hermanos, por su cariño, apoyo, presencia y nunca dejarme solo.

A Ti, por elegir estar conmigo y ser parte fundamental de mis logros.

A Todos, los que confiaron en mí y me brindaron su apoyo y conocimiento.

Contenido:

Introducción

1.- Medición de Flujos

- 1.1.- Datos Técnicos de la Represa
- 1.2.- Mediciones de Gasto Hidráulico
- 1.3.- Obtención de Gasto Medio

2.- Análisis de Alternativas y Selección de Turbina

- 2.1.- Definición de Turbina Hidráulica
- 2.2.- Tipos de Turbina
- 2.3.- Rangos de Operación
- 2.4.- Selección de Turbina
- 2.5.- Esquema del Proyecto

3.- Infraestructura

- 3.1.- Recomendaciones del Manufacturero
- 3.2.- Dimensionamiento de la Casa de Máquinas

4.- Procedimiento Constructivo

- 4.1.- Trazo y Nivelación
- 4.2.- Excavación, Cimentación y Estructura

5.- Puesta en Marcha

- 5.1.- Ubicación de Equipos
- 5.2.- Diagramas Unifilares
- 5.3.- Modo de Arranque

6.- Conclusión

Anexos

Bibliografía

Introducción.

En el desarrollo del ser humano, se han venido dando una serie de cambios vertiginosos que han mejorado su calidad de vida, misma que con el paso del tiempo ha traído aparejados serios problemas que hay que atender en el ámbito ecológico, sin duda alguna estos cambios en su mayoría han sido para bien de la humanidad, otros no han logrado establecerse como tales ya que dependiendo de su aplicación deterioran el medio ambiente por los contaminantes que se generan con su uso, y otros, que definitivamente generan una gran cantidad de contaminantes que propician el deterioro sustantivo del medio ambiente en el que vivimos, y dada las condiciones imperantes en este nuevo mundo de progreso, podemos decir que es inaceptable, que el ser humano debe enfocarse en el desarrollo de nuevas alternativas que no alteren las condiciones actuales del planeta o al menos sean reducidas. La Ingeniería sin duda ha sido uno de los pilares en el cambio con diferentes contribuciones, sobre todo en el ámbito industrial, mecánico, eléctrico y electrónico principalmente.

Es por ello que los diferentes gobiernos de los estados que conforman nuestra República, están considerando fuentes alternativas sanas (ecológicas/limpias) de producción de energía, impulsando obras encaminadas en este sentido y brindando apoyo a diferentes grupos que busquen estas nuevas fuentes energéticas; es el caso del gobierno del Estado de Morelos, que a través de la participación del gobierno municipal de Cuernavaca en el Estado y de la Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente (CEAMA) en su rama de Vigilancia y Cultura Ambiental, ha iniciado este proceso de transformación en la obtención de energía utilizando el Parque Ecológico Chapultepec en Cuernavaca como prueba piloto, instalando en su interior la primera micro-planta generadora de energía (por su capacidad de generación), misma que abastecerá al parque de la mayor parte de la energía que se consume actualmente, trayendo un beneficio económico al generar su propia energía y destinar los ahorros para realizar mejoras en el parque, incrementando sus atractivos para que un mayor número de visitantes lleguen a él entre otros beneficios, además de que, como alternativa adicional, estas instalaciones fungirán como un aula para que la visiten las diferentes escuelas de nivel básico, secundaria y bachillerato principalmente y se muestre a estos alumnos una de las tantas formas existentes de generación de energía y con esto, lograr crear conciencia en los estudiantes para que vayan a la búsqueda de mejores alternativas de desarrollo personales y de grupo, para tener una mejor forma de vida para todos en la localidad, el país y el planeta.

De acuerdo a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en su fracción II del artículo

1º de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética y La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha definido a la Mini hidráulica y Micro hidráulica en función de su capacidad para generar electricidad en un rango menor a los 30 MW como:

- Micro hidráulica si la central es menor de 1 MW
- Mini hidráulica si la central tiene entre 1 y 5 MW
- Pequeña central si la central tiene entre 5 y 30 MW

Para el caso que nos ocupa en esta tesis, caemos en el rango de la Micro eléctrica, ya que se estima la generación de energía eléctrica por debajo de 1 MW y estableciendo un comparativo con otros países (ver tabla I.I.1), nos damos cuenta que en México esta parte de desarrollo es completamente escaso o nulo y representa un campo de exploración para desarrollos futuros:

Micro hidráulica en el Mundo

País	Centrales	Capacidad (MW)
China	1119	1476
Japón	638	494
Austria	1900	430
Francia	1500	750
Italia	1031	322
Suiza	892	450
España	513	317
Noruega	376	169
Rumania	231	128
Finlandia	190	90
Brasil	173	114
México	16	15.76

Tabla I.I.1 Comparativa con otros países.

De las 16 plantas existentes en nuestro país, no se tiene un registro confiable de su operación y funcionamiento, los datos obtenidos son dispersos por la falta de atención a este tipo de generación, lo que se sabe es que en general la mitad esta fuera de servicio por diferentes razones, las principales son:

- a) Equipos obsoletos o por altos costos de operación
- b) Falta de agua y
- c) Por vandalismo entre otros

La micro generación está básicamente hecha por particulares (micro generación hidráulica) ya que la CFE no le ha dado todavía el impulso requerido para desarrollar en mayor medida la cogeneración, y vemos que en otros países con menores recursos naturales que el nuestro han logrado desarrollarlo llegando a niveles que prácticamente cubren gran parte de sus necesidades de generación.

Del inciso b) la falta de agua podemos decir que debido a los cambios en las condiciones climáticas imperantes en el planeta, en muchos lugares se están viendo fenómenos de sequía constantes, como la zona central-norte del país, pero esto no es condicionante para no desarrollar infraestructura renovable y autosustentable, por el contrario, es una de las alternativas que deberán seguirse en el futuro si no queremos que el cambio climático se agudice más de lo que se ha alterado, sin duda es un fenómeno natural que se llevara a cabo en algún momento de la era terrestre hablando en eras geológicas, pero no por ello, contribuyamos en su aceleración.

La presente tesis está encaminada a ofrecer esta nueva clase de alternativa (cero emisiones), ya que ofrece la oportunidad de conocer cómo se genera una fuente de energía sin que se altere el medio ambiente que le rodea y sobre todo, que no afecta ni altera la ecología del planeta, es de las llamadas energías limpias (a las que aspiramos) que debiéramos impulsar con mayor fuerza en los diferentes proyectos generadores de energía a nivel nacional y mundial, y la ingeniería deberá retomar el camino y cambiar las condiciones de contaminación existentes a condiciones de limpieza y cero emisiones de contaminantes; esto desde luego, no es una empresa fácil, ya que la inercia del desarrollo en el mundo nos está llevando a la elaboración de proyectos que cumplan con las necesidades de una gran masa de población, que resulte económicamente viable y que en la operación del mismo, se alcance el objetivo diseñado, no tomando en cuenta si las consecuencias de esa operación generara contaminantes que contribuirían con el deterioro de ecosistemas y el medio ambiente, fauna, u alguna otra forma de preservación de las condiciones imperantes en el planeta hasta el día de hoy, no es suficiente que el proyecto a desarrollar cumpla con lo planeado, ahora deberá adicionalmente cumplir con condiciones ecológicas mínimas para su desarrollo, el ingenio y habilidad de los ingenieros mexicanos (particularmente) es fundamental en la nueva era de la ingeniería (por el desarrollo de nuevas tecnologías); la parte económica sin duda tiene uno de los mayores impactos en el desarrollo de estos nuevos proyectos, ya que la gran mayoría de las obras a realizar en el país son con participación gubernamental principalmente y existe la restricción presupuestal o al menos está asociada, la tendencia en la generación de energía eléctrica es que los particulares tengan mayor incidencia en la generación y esto podrá llevar a mejores concepciones en la elaboración de proyectos ya que generalmente son escogidas las alternativas más económicas, que no necesariamente

son la más adecuadas porque no contemplan la parte ecológica como prioridad y se deja más allá del segundo término, provocando con esto, desarrollarlos de manera incompleta y al final gastando más presupuesto, porque hay que hacer obras complementarias para frenar situaciones de riesgo que ponen en peligro la ecología del lugar y del planeta.

Los proyectos de generación de energía, no necesariamente deberán ser de gran alcance y gran envergadura, sobretodo en comunidades y/o lugares donde no se ha desarrollado la industria, la nueva tendencia sería hacerlo contemplando comunidades pequeñas, los suficientes para alcanzar a cubrir sus necesidades, ya que para llevarlos a cabo no se requiere de grandes inversiones y que además las comunidades pueden participar directamente con mano de obra y/o con parte del presupuesto comunal, esto permite una participación de las partes interesadas y la consecución conjunta del objetivo del proyecto, obteniéndose beneficios para todas las partes involucradas, la participación creciente de organismos mundiales del primer mundo como bancos, gobiernos y organizaciones sociales son toda una alternativa para esta nueva era que debemos impulsar por el bien del planeta.

Las Micro hidroeléctricas traen aparejadas muchas ventajas pero también desventajas, haciendo una comparación de estas se tiene:

Ventajas

- Impacto ambiental reducido
- Impacto social apreciable, sobre todo cuando se inicia la construcción porque genera incertidumbre en la población
- A mediano plazo no se ven daños producidos en el medio ambiente por la construcción de las represas, al contrario se tiene un mayor crecimiento en la flora natural del lugar.
- No requiere combustible
- No contamina el agua y el aire
- Los costos de mantenimiento y explotación son reducidos
- Tienen un funcionamiento de muy larga duración
- Flexibilidad en su operación
- Da beneficios adicionales a la comunidad

Desventajas

- Los costos de la instalación por KW son relativamente altos
- Se requiere una red de distribución de energía eléctrica adicional al costo de la central hidroeléctrica
- La construcción es relativamente lenta, principalmente por la manufactura de la turbina
- La disponibilidad de toda la capacidad de generación fluctúa durante las diferentes estaciones del año, año tras año.

De las ventajas y desventajas que representa construir una Micro eléctrica podemos destacar que: **no consume combustible, no contamina** y que se depende de la disponibilidad del agua durante el año, estas son cuestiones que hay que tener en cuenta en la elaboración de proyectos futuros en el país, entre otros no menos importantes desde luego, México cuenta con una capacidad instalada de 49,931MW y requiere llegar a una generación de electricidad de más de 66,599 MW (para 2015) de los cuales el 22% se obtiene de hidroeléctricas para poder satisfacer las necesidades eléctricas de la población y la industria, actualmente se están desarrollando proyectos como La Parota (765 MW) y otros, donde se tienen una serie de problemas que están retrasando su terminación en tiempo, lo que nos lleva a retrasos de otra índole que en definitiva afectan el desarrollo en general del país. Se tiene estimado que la producción de Mini eléctricas deberán desarrollar una producción estimada en 3,200 MW en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla, Tabasco y ahora Morelos

El objetivo principal del presente trabajo está encaminado a: **Construir una Planta Generadora de Energía Eléctrica para el parque Ecológico Chapultepec de Cuernavaca Morelos por medio de una turbina hidráulica movida por agua corriente que emana de un manantial en el mismo parque**, para ser autosuficientes y disminuir gastos por consumo de energía eléctrica y cuando por alguna causa se interrumpa la generación propia, tener el suministro de CFE (con el que cuentan actualmente) para evitar quedarse sin energía por tiempos prolongados, ya que este parque requiere de suministro constante de energía debido a que existen animales que requieren calor para subsistir y para la conservación de medicinas que requieren los veterinarios mantener en refrigeración como vacunas por ejemplo y para los diferentes tipos de servicios existentes en el lugar y oficinas. No contempla acciones para bajar la carga de los consumos en los diferentes locales comerciales y oficinas con que cuenta el parque, eso sería motivo de otro proyecto.

CAPÍTULO I

Medición de Flujos

1.- Medición de Flujos.

1.1.- Datos Técnicos de la Represa

Para poder llevar a cabo el proyecto de selección de turbina y generar energía eléctrica en el parque Ecológico Chapultepec de Cuernavaca Morelos; se requieren los datos enlistados en la tabla I.2.1 y ya de manera particular, se cuenta con una represa o cortina de gravedad de mampostería siendo esta por su eje en planta del tipo recta y normal a la corriente, el talud aguas arriba es 1:1 y el de aguas abajo es 0.40:1, donde la capacidad del embalse es de 22'000,000 litros de almacenamiento de agua siendo esta su función principal, la corona tiene una altura estimada en 8 m (que posteriormente se usara como el nivel +100.00) desde el desplante, con base de 5 m y corona de 1.20 m, tiene un vertedero de 12.50 m de ancho, teniendo un ancho total de 32 m, el vertedero está dividido en 6 vanos de 2.40 m de ancho cada uno. El parque cuenta con un manantial de agua que proporciona un gasto de 1,000 l/s, este gasto es dividido en 3 canalizaciones regulables por medio de compuertas, la primera que alimenta al cauce que llega a la represa, la segunda que alimenta tierras de cultivo de ejidatarios, y una tercera que alimenta principalmente a una papelera local, la primera salida mencionada alcanza un gasto de 600 l/s o más cuando se cierran las otras 2 salidas de manera parcial o total, y el mínimo llega hasta los 90 l/s y está en función del uso que los ejidatarios den a sus tierras porque tienen prioridad de uso del agua para sus cultivos; la cuenca es de poca magnitud y tiene un largo estimado en 1.3 km que en temporada de lluvias suministra escurrimientos suficientes para aumentar el caudal del río. La cuenca está encerrada por los límites del parque y a un costado de la autopista del sol, otra de sus funciones es almacenar el agua para el esparcimiento de las personas que visitan el parque.

1.2.- Mediciones de Gasto Hidráulico

Se llevó a cabo la medición de los diferentes flujos del cauce en el período mostrado, cabe mencionar, las variaciones en el mismo son durante la temporada de lluvias que se ve aumentado el cauce solo durante el tiempo que dura la lluvia y el tiempo que dura el escurrimiento natural de la cuenca, además del uso que le dan los ejidatarios al agua.

El siguiente cuadro (Tabla I.2.1) muestra las diferentes mediciones hechas en los vanos del vertedero de la represa:

Período 12/03/2008 – 11/06/2008

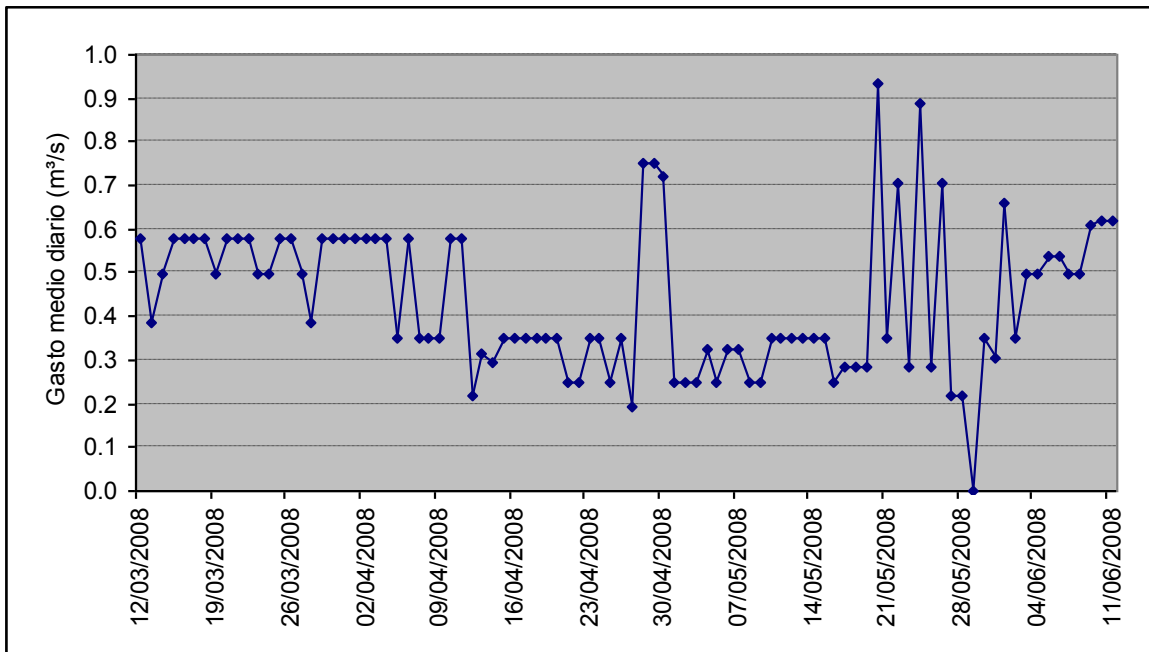


Tabla I.2.1 Medición de flujos.

- Nivel de aguas máximo de operación (NAMO): 997.376 m
- Nivel de desfogue: 990.75 m
- Perdidas hidráulicas: 0.277 m
- Carga Bruta (Hb): 6.626 m
- Carga Neta (Hn): 6.399 m
- Q= 0.50 m³/s promedio a considerar

1.3.- Obtención de Gasto Medio.

De la gráfica anterior tomamos información para elaborar el siguiente cuadro (I.3.1), que nos permitirá tomar las decisiones que requerimos para la selección de la turbina, en cuanto a su capacidad y dimensionamiento en particular de acuerdo a los estándares establecidos por la empresa suministradora del equipo. Más adelante se muestran las diferentes alternativas posibles de fabricantes y capacidades de los equipos; la determinación de la selección de la turbina: deberá responder a los requerimientos propios del sistema como son: eficiencia y capacidad de generación principalmente, debemos ver también el punto del tipo de mantenimiento que deberá proporcionarse a la misma para conservarla en óptimas condiciones de operación.

<i>GASTO (m³/s)</i>	
Media	0.437
Mediana	0.350
Moda	0.578
Desviación estándar	0.169
Varianza de la muestra	0.028
Curtosis	0.041
Coefficiente de asimetría	0.438
Rango	0.934
Mínimo	0.000
Máximo	0.934

Tabla I.3.1 Obtención de parámetros estadísticos.

Las mediciones fueron hechas en temporada de estiaje hasta el inicio de la temporada de lluvias, el flujo del manantial se mantiene constante durante todo el año y, las variaciones en el cauce de la represa hacia los mínimos son principalmente cuando los campesinos requieren regar sus tierras durante el estiaje, que a su vez depende del tipo de siembra que se tenga en la temporada. La cuenca del parque no arroja flujos considerables para el aumento del caudal, si así fuera el caso, el excedente se iría por el vertedero de la represa y no tendría un uso efectivo porque la captación es temporal, ya que la cuenca cuenta con 1.3 km de largo y la represa no tiene la capacidad de retener el caudal más allá de la altura de los vertederos (que en este caso es de 990.75 msnm)

Los datos de la tabla I.3.1, nos permiten ver los parámetros existentes de los diferentes flujos/caudales manejados en el río en las diferentes épocas del año, por la cantidad de agua que fluye a través del río, se aprecia que la turbina deberá poder manejar diferentes rangos de flujo conservando su eficiencia en la generación, ya que deberá darnos la posibilidad de generar energía eléctrica con cualquier caudal que se tenga en cada una de las estaciones del año; en el siguiente capítulo se analizan las diferentes alternativas que estos datos nos dan.

CAPÍTULO II

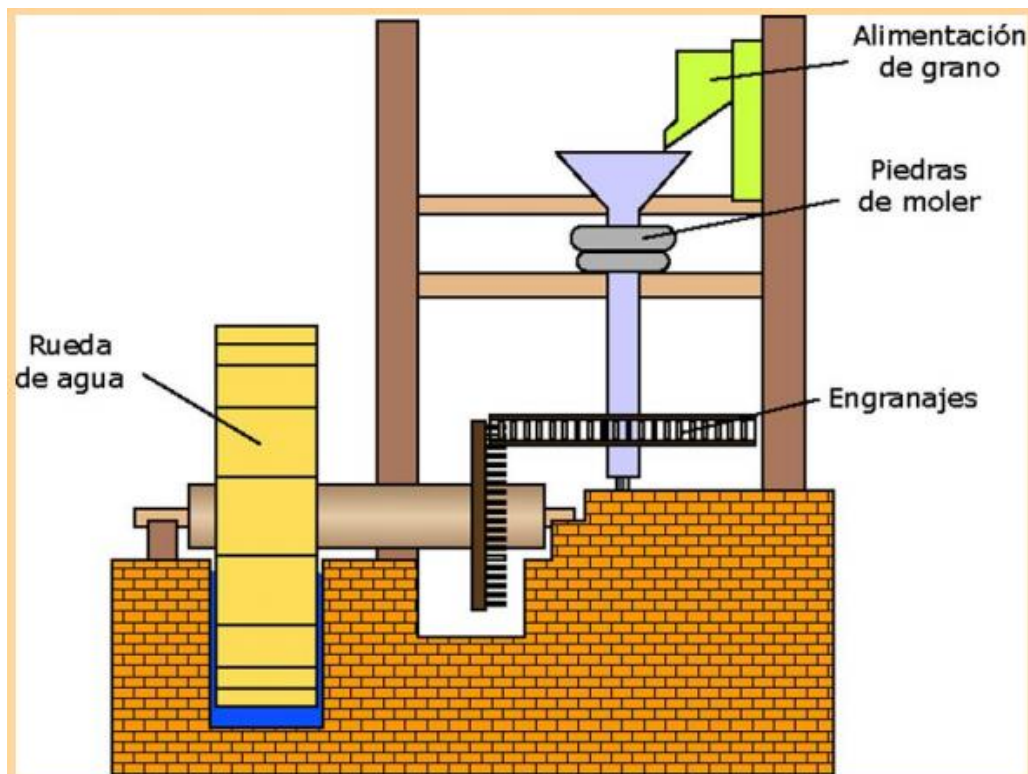
Análisis de Alternativas y Selección de Turbina

2.- Análisis de Alternativas y Selección de Turbina.

2.1.- Definición de Turbina Hidráulica.

La palabra “turbina” viene del latín turbo-inem, que significa rotación o giro, y con esto se define una Turbina Hidráulica como: **Una máquina que transforma la energía cinética contenida en un fluido por velocidad o altura, en energía mecánica de movimiento de rotación**, y acoplada mediante un eje a un generador eléctrico produce/genera electricidad.

Haciendo una breve reseña de las turbinas (ver dibujo II.2.1), se tiene que su origen está en las ruedas mecánicas conocidas por los Romanos a. C. usadas para la molienda de granos principalmente y otras aplicaciones, que se instalaban en las corrientes de los ríos, se logró mayor popularidad en la Gran Bretaña por el año 762 d. C. al perfeccionar su funcionamiento y teniendo un mayor rango de aplicación.



Dibujo II.2.1: Esquema de molino romano

El físico matemático francés Parent (1666-1716) estudia por primera vez el funcionamiento de las ruedas hidráulicas y hace una relación óptima entre la velocidad de la rueda y la velocidad de la corriente de agua, dando origen a las ruedas de impulso y de reacción, y con esto se presentan las ventajas de aprovechar la energía cinética del agua, posteriormente el científico Euler en 1754 las lleva a considerarse como ciencia aplicada ya que desarrolla la ecuación fundamental de las turbo máquinas, deducidas igualando el par a la variación de la cantidad de movimiento del fluido en su paso por el rotor. El francés Claude Burdin (1790-1873) continúa con su estudio y desarrollo e introduce por primera vez el termino técnico de “turbina”, uno de sus discípulos Benoit Fourneyron (1802-1867) logro construir la primera turbina hidráulica experimental (1826), el agua era dirigida tangencialmente a través del rodete de la turbina aprovechando su giro, esta contaba con muchas limitantes como: tener bajas rpm, caudal restringido de admisión y su tamaño, aunque tenía una eficiencia del 80%, estos estudios dan origen a las turbinas tipo Francis que en 1848 mejoró James B. Francis usando principios y métodos de prueba científicos y llevándolas a una eficiencia del 90%, sus métodos matemáticos y gráficos de cálculo mejoraron el estado del arte en lo referente al diseño e ingeniería de turbinas; siendo esta la primera turbina del tipo radial, centrífuga, de inyección total y escape libre; retomando lo antes expuesto puede resumirse que en el siglo XVIII se gestan, en el siglo XIX nacen y en el siglo XX se desarrollan; el avance de la tecnología ha permitido que estos mecanismos se fabriquen cada vez de menor tamaño, admitan grandes volúmenes de agua, resistan enormes cargas hidráulicas y sean más eficientes, se enlistan las más comunes y de mejor desarrollo tecnológico.

- 1905 Turbinas Francis (primeras gemelas)
- 1914 Turbinas Turgo
- 1915 Turbinas Kaplan
- 1918 Turbinas Banki
- 1950 Turbinas Deriaz
- 1970 Turbinas tipo Bulbo

Las turbinas se han llegado a desarrollar de tal manera que en el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de ellas que presentan altas eficiencias de operación, sobretodo, por la concepción del diseño que manejan cada una de ellas, mismas que más adelante en este capítulo se describen.

Por lo que resulta necesario hacer una recopilación por el tipo de funcionamiento de las diferentes tipos existentes, para obtener un mejor panorama de selección y viabilidad, por lo que se enlistan:

2.2.- Tipos de Turbinas:

a) De Acción o de Impulso.

b) De Reacción.

a) Las Turbinas de Acción o de Impulso: Son aquellas que giran cuando un chorro de agua proveniente de una tobera (boquilla) golpea sus cangilones (montados en un eje) a velocidades muy altas y los hace girar, o sea que aprovechan básicamente la velocidad del flujo de agua, y dentro de esta clasificación se han desarrollado 3 tipos y las más conocidas son, **La Turbina Pelton, La Turbina Turgo y La Michell-Banki.**

b) Las Turbinas de Reacción: Son aquellas que aprovechan la velocidad del flujo de agua y las pérdidas de presión que se producen en su interior. En general son de dos clases. En una de ellas el flujo del agua ingresa con respecto al eje de la turbina paralelamente y perpendicularmente, son las denominadas Turbinas de Flujo Mixto; de esta categoría son **las Turbinas Francis.**

En la otra clase, el agua fluye paralelamente al eje de la turbina y se designan como Turbinas de Flujo Axial, de esta categoría son las **Turbinas Kaplan.**

Cada una de ellas realiza un trabajo específico por su tipo de funcionamiento y responde a diferentes requerimientos que resultan de las necesidades propias del proyecto a desarrollar, condiciones de caudal, altura de la represa, impacto ambiental y otras, en las gráficas siguientes (gráficas II.3.1 y II.3.2) se observa donde tienen su aplicación cada una de ellas.

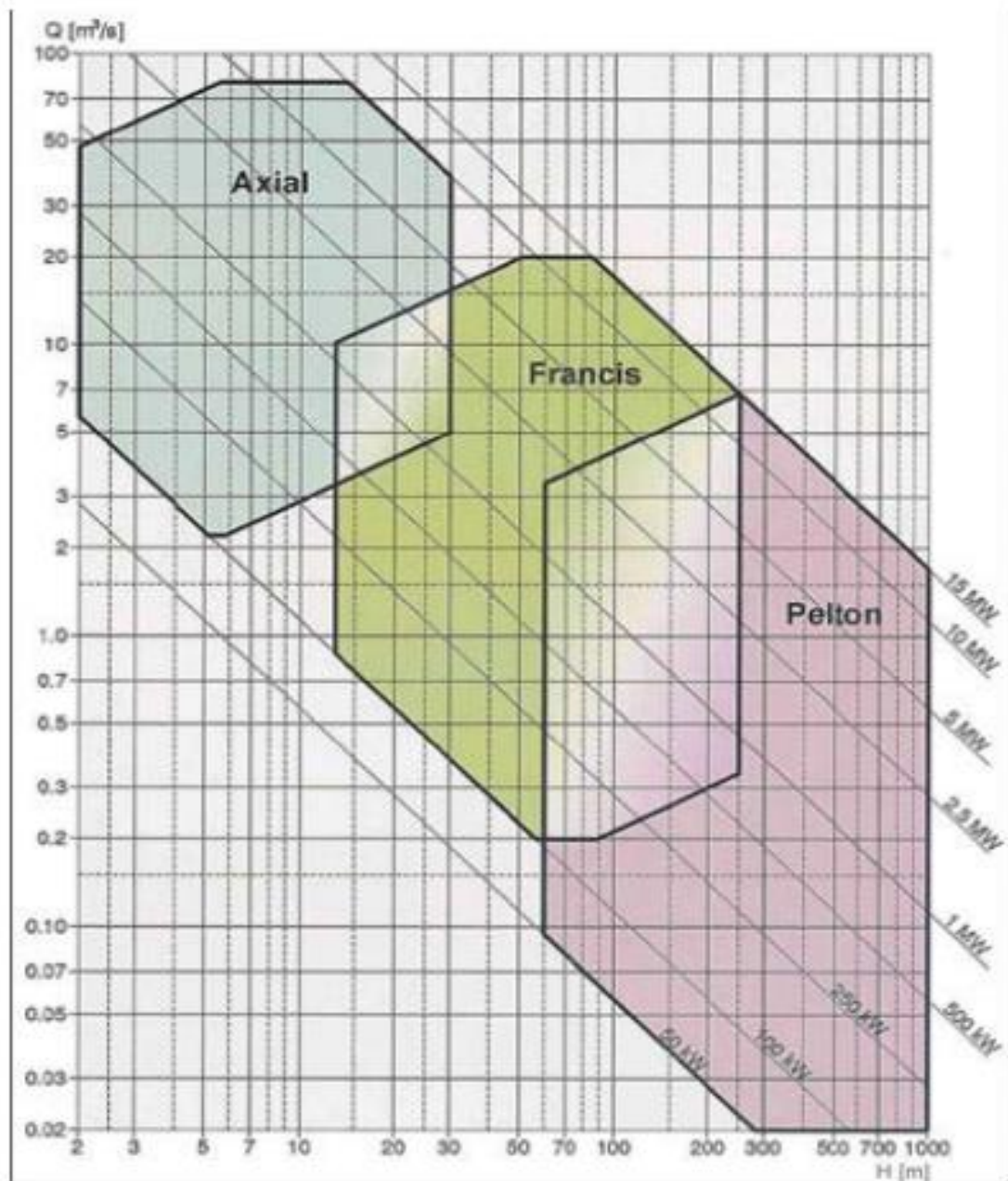
Como nota importante; se debe resaltar que, todas las turbinas deben evitar la cavitación, y la cavitación (fenómeno exclusivo de los líquidos) se define como: la formación de vacíos dentro de un cuerpo en movimiento líquido (o alrededor de un cuerpo en moviéndose dentro del líquido), esto provocado por diferencia de presiones entre la presión local y la presión de vapor debida a los efectos dinámicos del líquido, teniéndose un cambio rápido y explosivo de la fase líquida a vapor, tendiendo las partículas formadas a adherirse a los bordes de la trayectoria de paso del líquido, las partículas forman burbujas de vapor que al chocar con las superficies de los bordes de la turbina explotan, erosionan y causan vibraciones, provocando desgastes adicionales a las superficies donde colapsan. Para que la cavitación exista se deben dar básicamente 3 condiciones: que haya flujo a alta velocidad, bajas presiones y cambio abrupto en la dirección del flujo y se estima que una burbuja de vapor tiene un diámetro aproximado de 0.25 pulgadas, que con una duración de 3 milisegundos y una velocidad de colapso de 765

pies/s, dan unas pulsaciones o golpes equivalentes a 50,000 libras/in². Se dice que se tendrá un estado de libre cavitación o cero cavitación cuando se opera la turbina por 25,000 horas sin pérdidas mayores a 2.27 kg de metal del rodete; 0.91 kg sobre las partes rodantes y no más de 0.23 kg de pérdida de metal en cualquier área particular de 930 cm², una de las formas más sencillas de eliminar la cavitación es: ubicar la turbina lo más bajo posible con respecto a la descarga, deberá analizarse cada caso en particular ya que esto conllevaría a realizar volúmenes mayores de excavación y mayores estructuras de concreto.

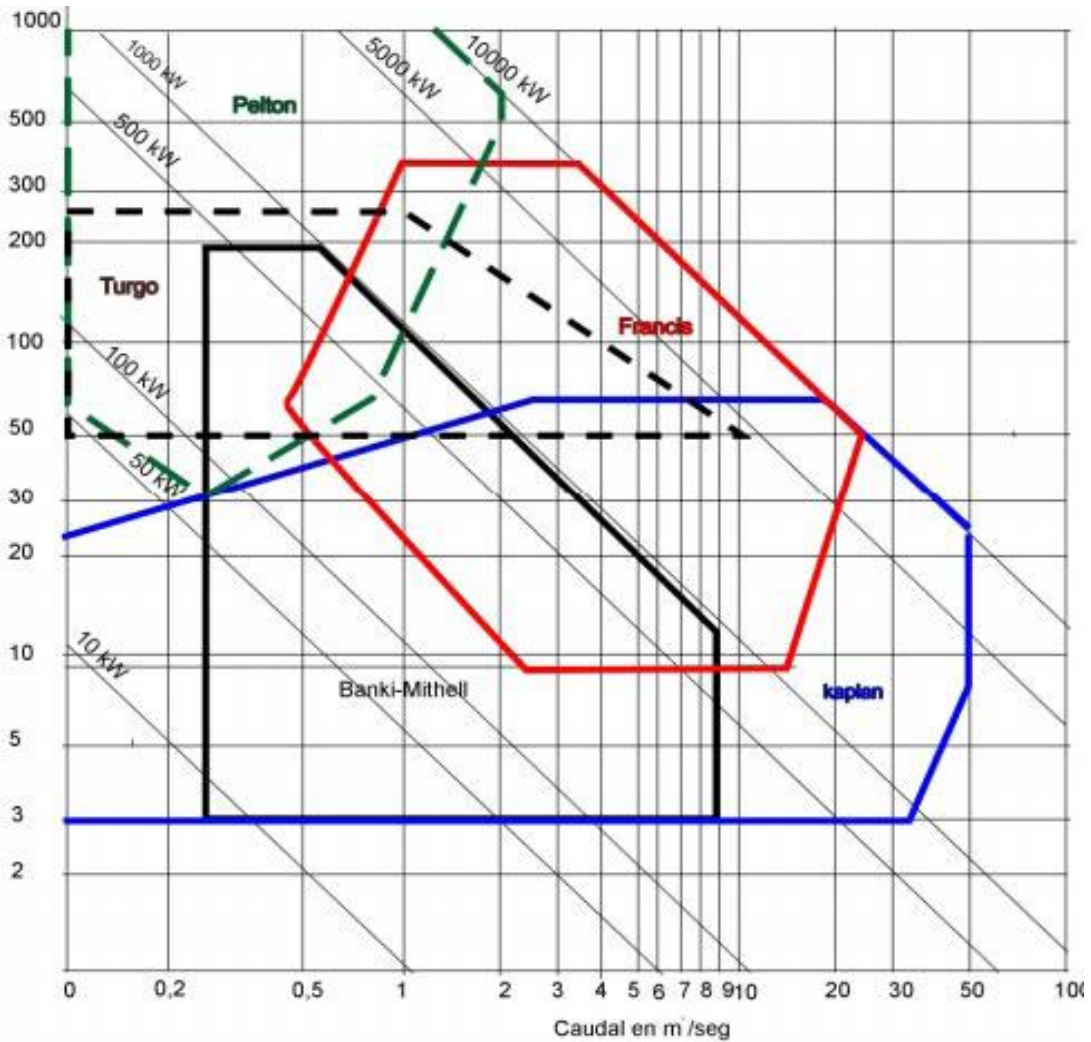
2.3.- Rangos de Operación

Para poder seleccionar una turbina, se deben conocer primero: la altura a la que se colocara la admisión del gasto (Hn) y la cantidad de agua mínima con la que se hará operar (Q), revisar las diferentes gráficas existentes para ver los límites operacionales de estas así como rangos de aplicación y funcionamiento, porque cada una de ellas tiene un rango de aplicación y operación óptimo, las gráficas se han elaborado a través de los años por las diferentes empresas manufactureras producto de desarrollo científico de ellas mismas, la observación y análisis técnicos de sus funcionamientos, los fabricantes las han complementado y comparado con su competencia y gracias a ello pueden enlazarse para establecer una mejor óptica de análisis, a continuación se muestran dos de ellas (Gráficas II.3.1 y II.3.2).

LÍMITES OPERACIONALES DE LAS TURBINAS



Gráfica II.3.1 Límites y rangos de operación de turbinas



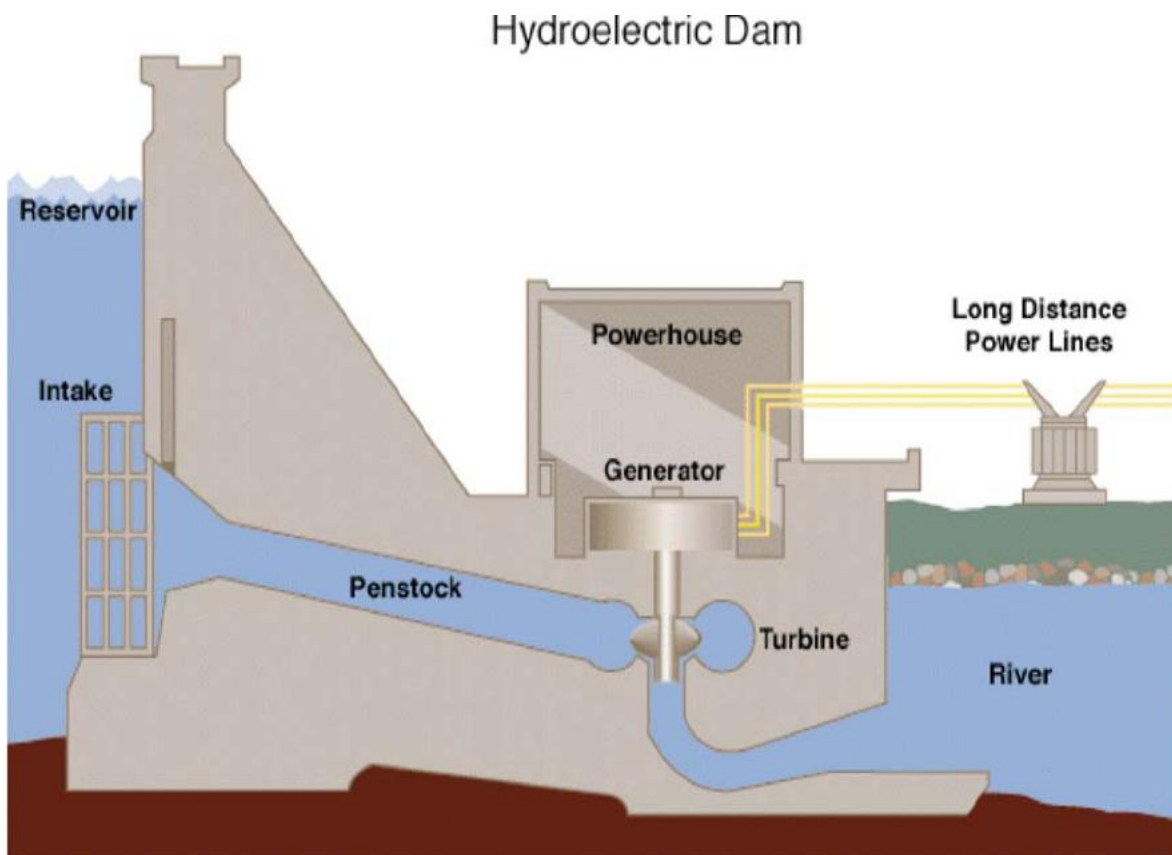
Gráfica II.3.2 Límites y rangos de operación de turbinas

De las dos gráficas anteriores (II.3.1 y II.3.2), se puede observar que para elevaciones altas y caudales relativamente bajos, son aplicables las turbinas tipo Pelton y para saltos medios y caudales relativamente altos se pueden seleccionar las turbinas tipo Francis, mientras que para elevaciones extremadamente bajas y grandes caudales, la selección sería las turbinas Kaplan, resaltando estos tres tipos de turbinas como las más representativas y de mayor uso en centrales hidroeléctricas en el mundo. Para el caso de las Turbinas de Flujo Cruzado en la gráfica se observa que son principalmente para elevaciones y caudales extremadamente bajos y se aplican las turbinas tipo Michell-Banki.

Se encuentran zonas de intersección en las cuales cumplen dos tipos de turbinas, por ejemplo Pelton y Francis, caso en el cual se utilizan criterios económicos para la selección

final y mantenimiento de la misma entre otros. Es posible que en ciertos casos en los cuales las variables económicas son muy similares se utilicen otros criterios de selección como la calidad del agua, obras mecánicas adicionales, complejidad en el montaje por ejemplo.

También se observa que las turbinas de **Flujo Cruzado** son las indicadas para elevaciones y caudales extremadamente bajas, que son las que en este caso nos ocupa para el desarrollo del presente trabajo. En el dibujo siguiente II.3.3 se presenta el concepto de lo que es una Central Hidráulica.

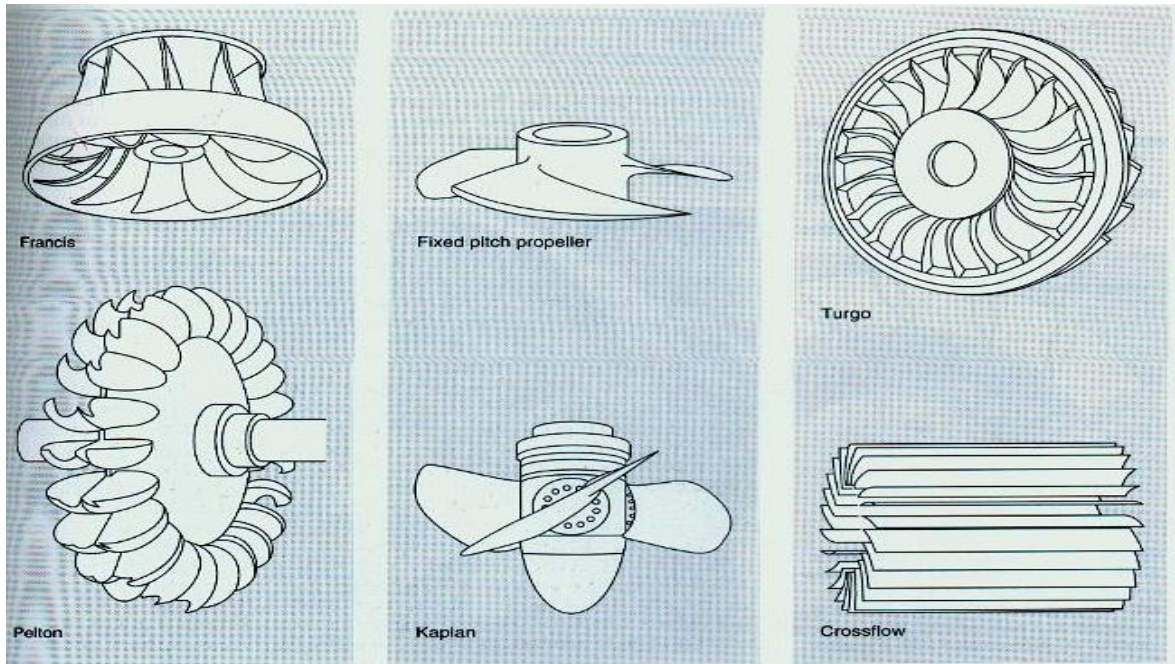


Dibujo II.3.3 Esquema típico de una Hidroeléctrica

Cabe mencionar que para el caso particular de las turbinas de flujo cruzado, no es necesario construir una represa y almacenar grandes cantidades de agua, una solución a esto sería construir un área de admisión de agua lo suficientemente grande para canalizar el caudal hacia donde se requiere, ya sea por medio de un canal, una pequeña barrera

para elevar el nivel (cortina de muy baja altura) y/o la combinación de estas, cada caso en particular deberá analizarse para obtener un proyecto económico y viable en todos los aspectos.

El esquema siguiente II.3.4 nos muestra los diferentes tipos de mecanismos que se acoplan a un eje, lo hacen girar y como se han clasificado, además de dar nombre a la turbina.



Dibujo II.3.4 Diferentes tipos de turbinas.

2.4.- Selección de la Turbina

Para la selección de la turbina es necesario establecer con los datos obtenidos en las mediciones enlistadas en el capítulo 1, de las gráficas de la sección 2.2 y 2.3 y de las condiciones propias de la infraestructura existente en el sitio de trabajo, un criterio único de evaluación, las limitantes naturales con que se cuenta en el sitio de trabajo son básicas, además de la información más específica del tipo de turbinas que existen en el mercado y que se requiere para este proyecto, por lo que **el criterio deberá tener en cuenta lo siguiente:**

- 1. Rango amplio en la admisión del caudal para manejar los diferentes flujos que se tienen en las diferentes épocas del año y abarcará de 0-500 l/s.**
- 2. Generación de energía eléctrica con los diferentes rangos de caudal de la represa y, con una carga hidráulica de 6.00 m como máximo**
- 3. Turbina libre de mantenimiento y/o el mínimo necesario.**
- 4. De fácil montaje**
- 5. Equipamiento electrónico básico para controlar funcionamiento y operación de la manera más sencilla posible**
- 6. Fácil ensamblaje y manejo en el montaje de la misma.**
- 7. Garantía amplia de todos los componentes y equipos de servicio.**
- 8. Cumplir con los requerimientos estadísticos producto de las mediciones hechas en sitio.**

En el mercado internacional existen diferentes fabricantes de turbinas que cuentan con un alto prestigio de sus mecanismos, los principales fabricantes son: los Estados Unidos de Norteamérica y Alemania, los países asiáticos se encuentran desarrollando ya esta parte así como otros países europeos. La búsqueda de fabricantes de mini-turbinas hidráulicas se vio reducida porque no todos los fabricantes las fabrican porque como se vio en las gráficas anteriores, hay diferentes rangos de aplicación, siguen los mismos principios que las de gran escala, pero su manufactura requiere de otros factores que están fuera del alcance de esta tesis y solo se muestran las más comerciales y eficientes en su funcionamiento que cumplen con las necesidades del Parque Ecológico.

De las que se encuentran en el mercado son: las tipo Kaplan y Flujo Cruzado (Michell-Banki), que de acuerdo a las gráficas mostradas nos arrojan que son las únicas que cumplen con las condiciones de nuestro proyecto, y teniendo en cuenta que cada una de ellas tienen características diferentes de funcionamiento (trabajo) y, que acompañadas con equipo de servicio adicional de generación las convierte en turbinas con un alto grado de eficiencia, que representan las de mayor uso en el mundo por los principios que manejan desde su concepción, se analizan las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas.

Comparativa de las turbinas Michell-Banki vs Kaplan

Ventajas Michell-Banki

- No se produce efecto de cavitación, evitando con esto desgaste excesivo en las partes.
- Rango de eficiencias muy alto con caudales bajos.
- Para la detención de la planta (paro) basta con el sello que se logra con las paletas directrices.
- Para un cierre de emergencia seguro, se ha provisto a la turbina con un sistema de contrapesos.
- Para la operación automática de la planta, no es necesario suministrar corriente continua alterna.
- No se produce un paro de la planta por causa de un rodete obstruido o disminución del caudal.
- Envejecimiento y desgaste mínimos a lo largo de la vida útil de la turbina, manteniendo su alta eficiencia todo el tiempo.
- Sistema simple y sencillo de lubricación periódica.
- Trabajos de montaje extremadamente sencillos.
- Trabajos de mantenimiento sencillos, casi despreciables, y no es necesario parar la planta para llevarlos a cabo.
- Los rangos de admisión del gasto son muy amplios.
- Su construcción es muy sencilla con un mínimo de partes móviles.
- Rodamientos libres de acoplamientos adicionales en zonas de contacto con el agua.
- Operación de la planta por personal con conocimientos técnicos mínimos.
- Infraestructura mínima para su montaje.

Ventajas Kaplan

- Rango de eficiencias muy altos con caudales variables.
- Rango de admisión del gasto muy amplio.
- Infraestructura mínima para su montaje.
- Ajuste de paletas para optimizar eficiencia de turbina.

Desventajas Michell-Banki

- Período de fabricación muy alto.
- Proyecto civil dependiente del tiempo de diseño de la turbina.
- Espera de partes prolongado para su montaje.
- Espera de supervisión del montaje para su arranque por el fabricante.

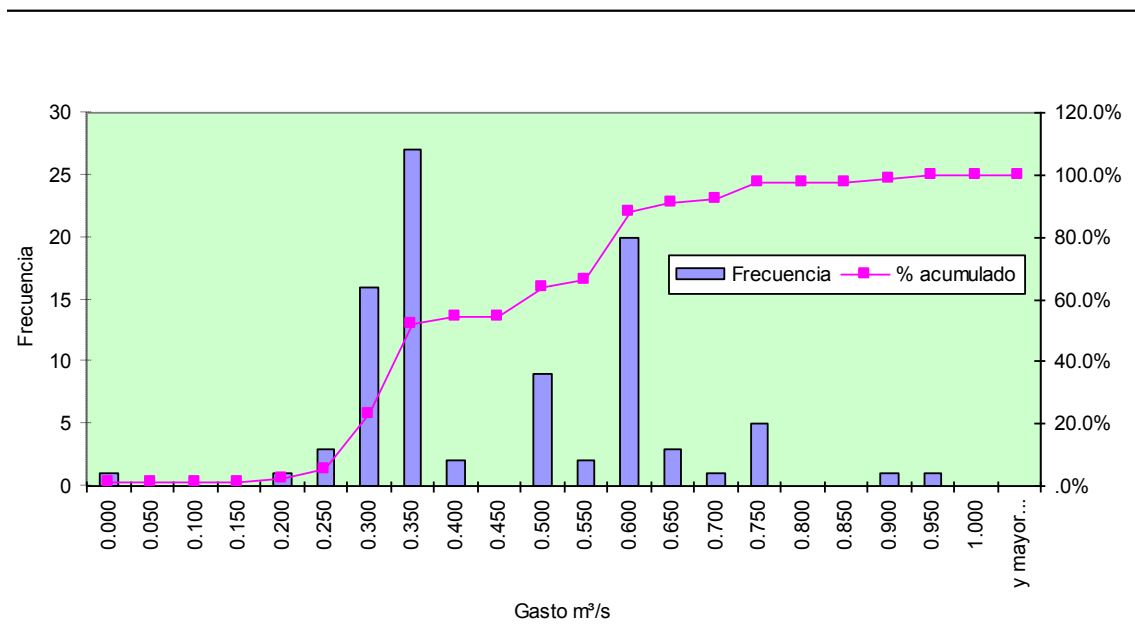
Desventajas Kaplan

- Su montaje requiere de personal calificado.
- Muchas piezas de ensamble.
- Necesario parar para verificar partes y su mantenimiento.
- Alabes con mecanismos para su ajuste de ángulo que pueden fallar.
- Para su paro, se requiere cerrar válvula en la admisión.
- Se requiere mayor profundidad para la descarga.
- Período de fabricación muy alto.
- Dependiendo de diseño de turbina, posibles trabajos adicionales para su ensamble.
- Espera de partes prolongado para su montaje.
- Espera de supervisión del montaje para su arranque por el fabricante.

De la comparativa anterior se puede ver que la turbina de flujo cruzado Michell-Banki, presenta mayores ventajas que la del tipo Kaplan, sin embargo se analizan otras partes más adelante para ver su comportamiento.

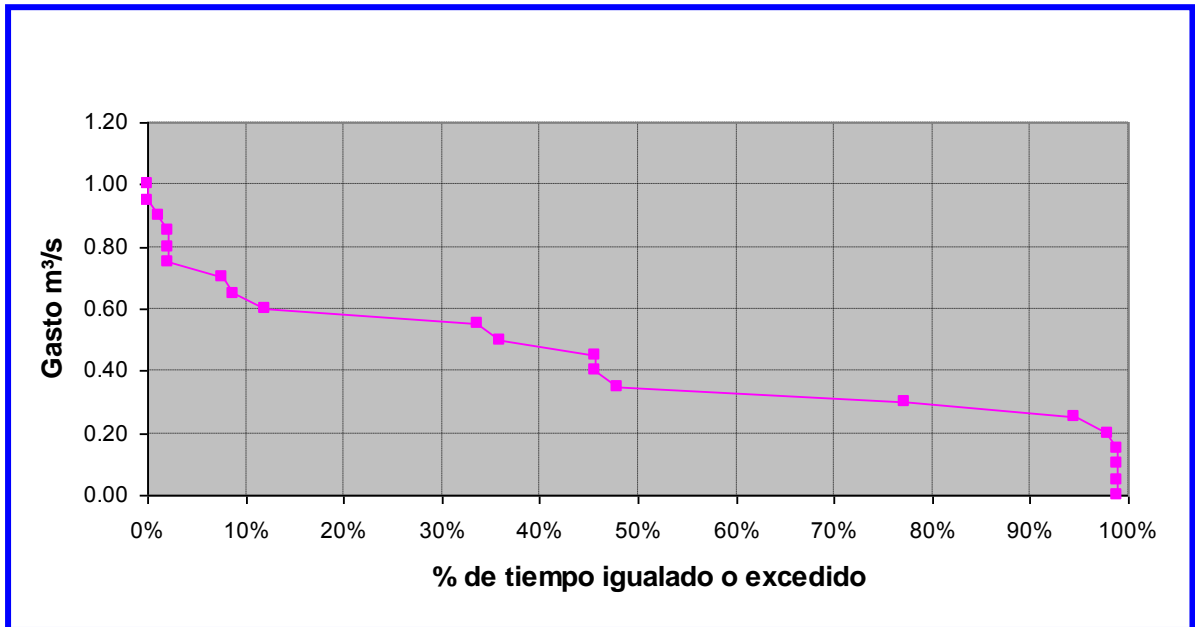
Con los datos obtenidos de la tabla No. I.2.1 se elaboraron las gráficas siguientes II.4.1 y II.4.2 que nos permiten ver el comportamiento de su operación y que es, uno de los factores para la selección de la turbina.

Gráfica de Gasto vs. Frecuencia



Gráfica II.4.1 Graficación de datos de gastos vs frecuencia.

Período 12/03/2008 - 11/06/2008



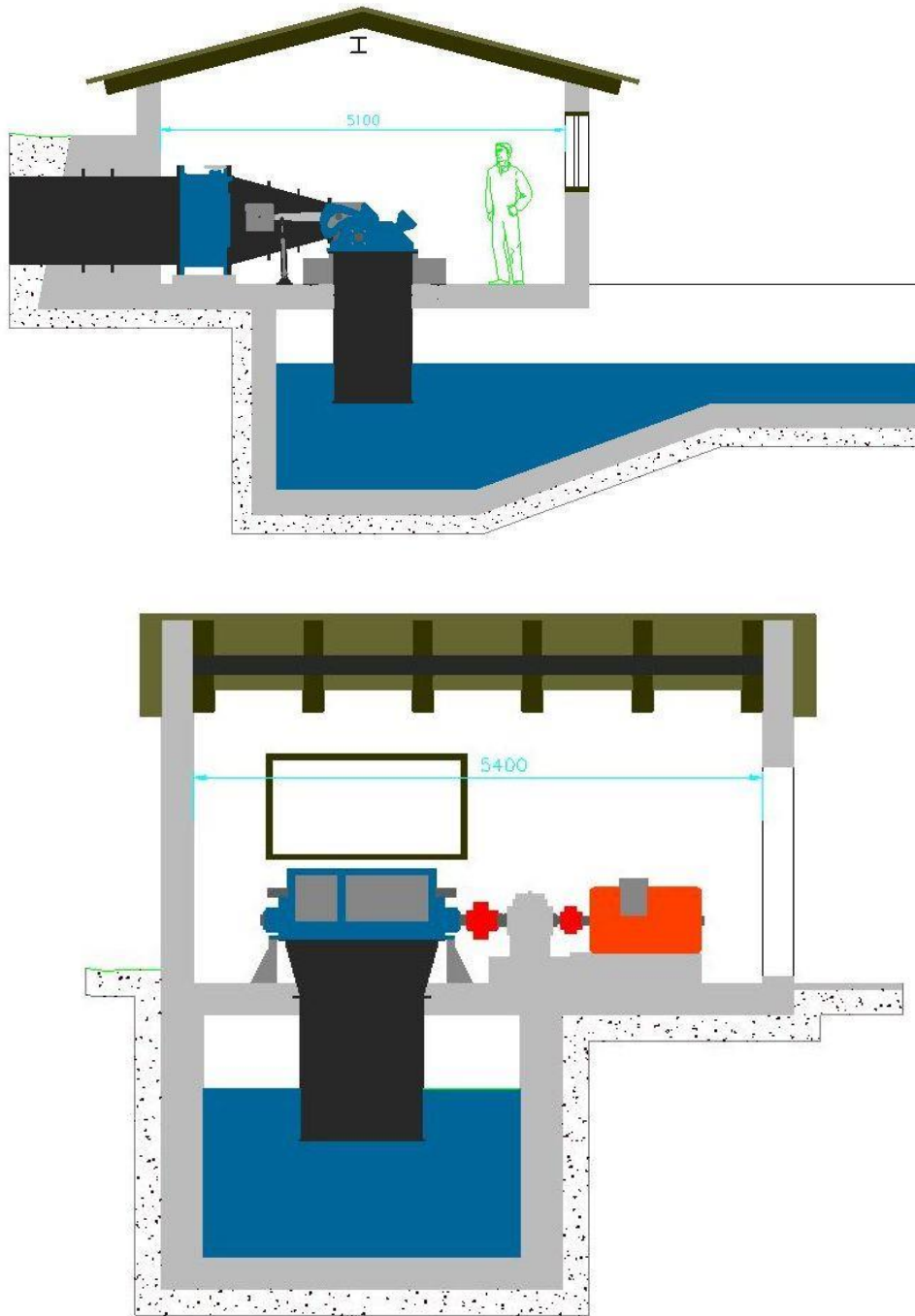
Gráfica II.4.2 Graficación de datos de tiempo vs gastos.

De la información proporcionada por los fabricantes de turbinas, se resume lo siguiente para establecer las comparativas entre ellas y ver gráficamente su comportamiento (ver dibujos II.4.3, II.4.4 y II.4.5 para turbinas Michell- Banki; los dibujos II.4.6, II.4.7, II.4.8, II.4.9, II.4.11 y II.4.12 para las demás) y, con esto, tener un mejor panorama de selección de la misma. Posteriormente se hace una descripción gráfica de los diferentes tipos de turbina en cuestión.

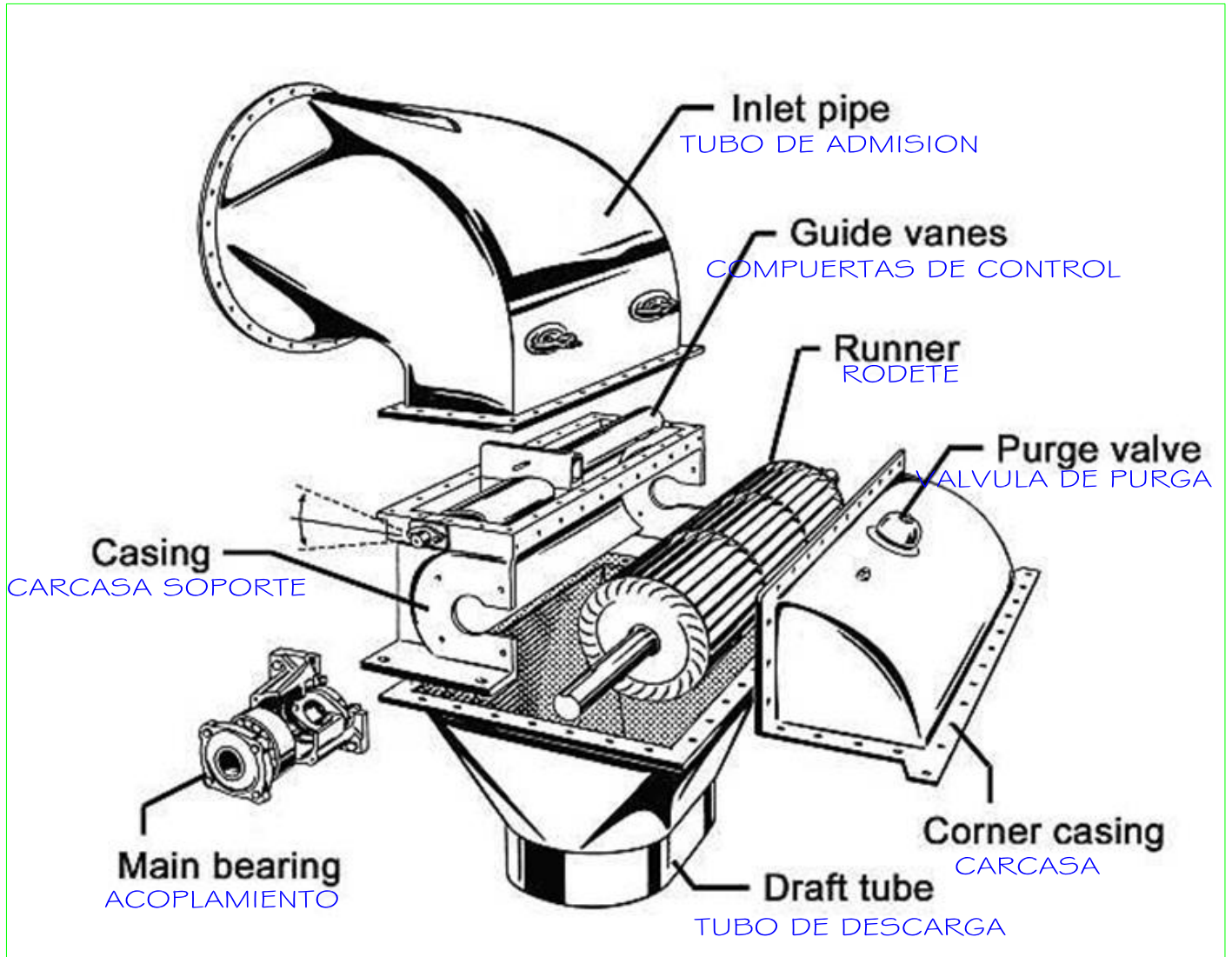
Alternativas del Tipo de Turbinas

- Turbina de Flujo Cruzado o Michell-Banki
- Turbina Kaplan en tubo o S invertida
- Turbina semi Kaplan inclinada en sifón
- Turbina Propela en Equipo Hydro-eKIDS

Turbina de flujo cruzado o Michell-Banki

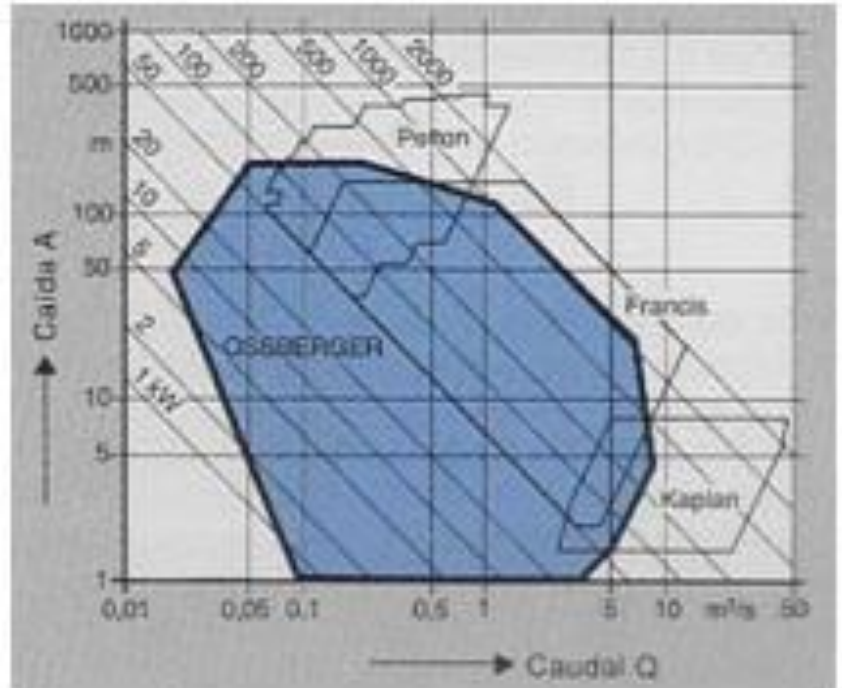
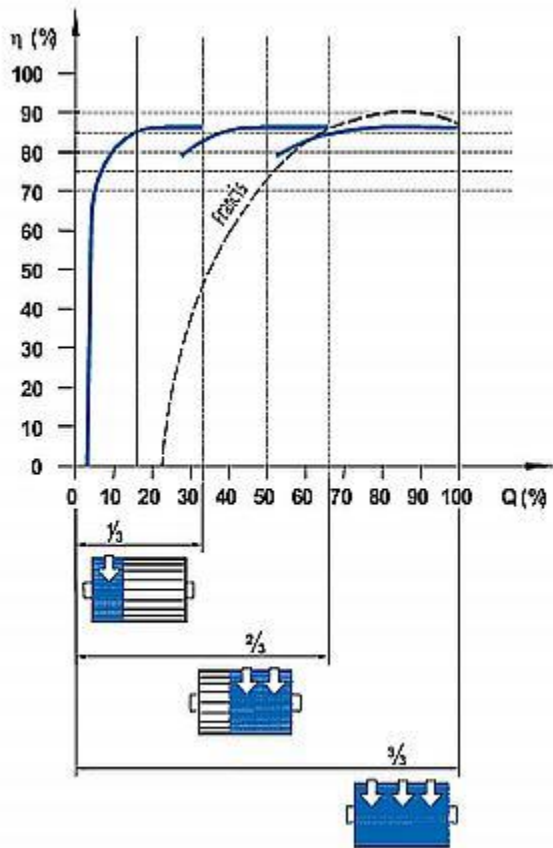


Dibujo II.4.3 Esquema de distribución típica de turbina Michell-Banki.



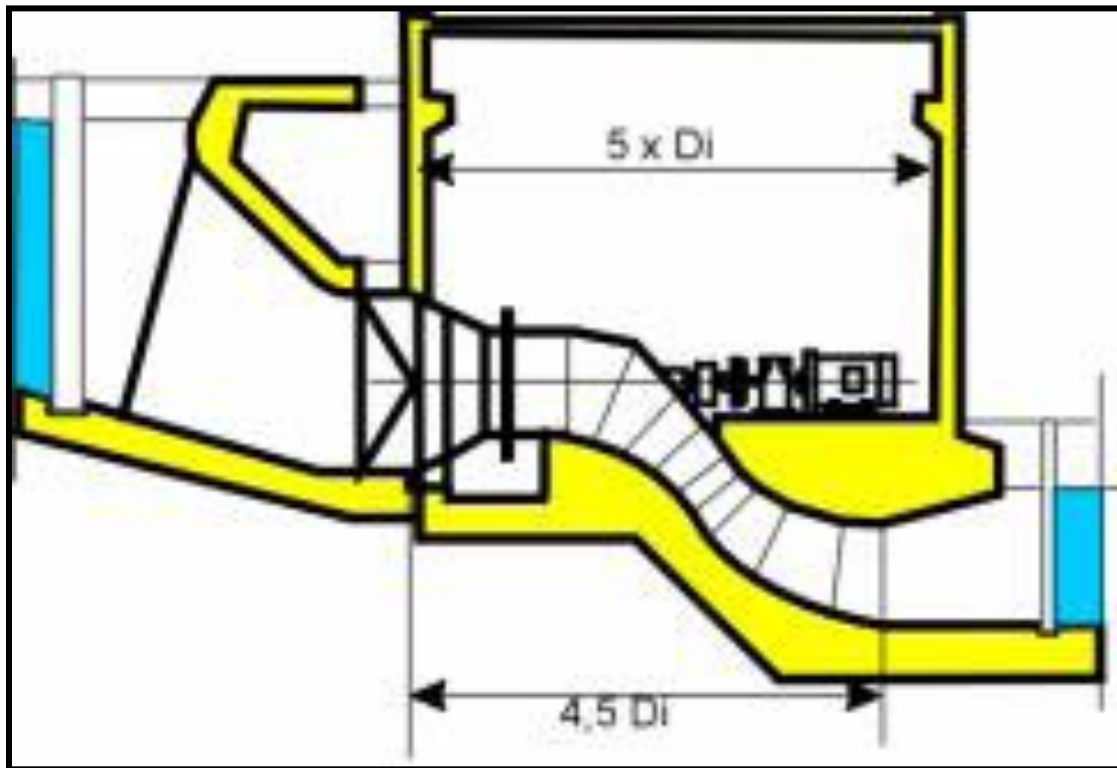
Dibujo II.4.4 Dibujo de partes integrales de turbina Michell-Banki.

Rango de aplicación y eficiencia de la turbina Banki

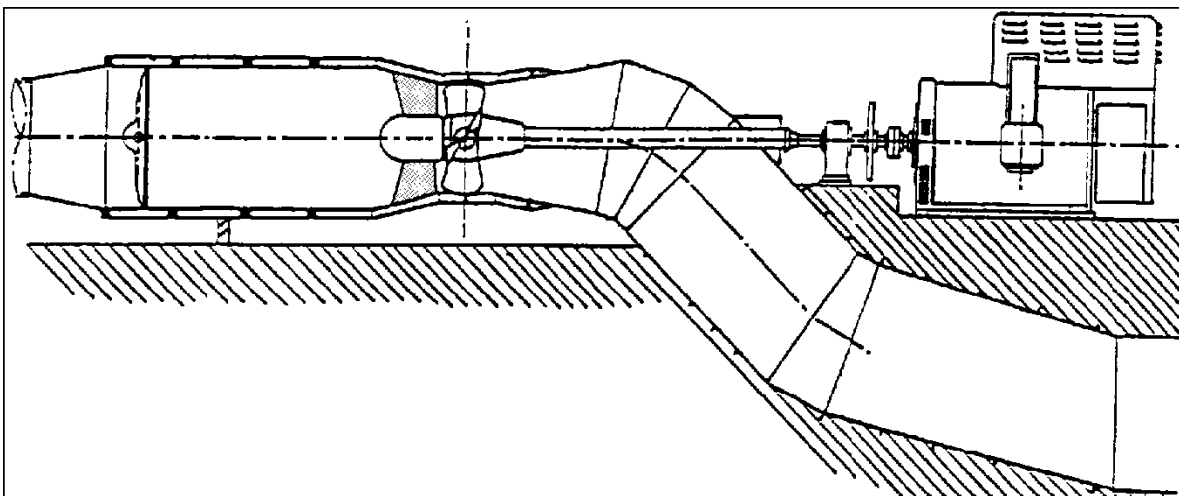


Gráfica II.4.5 Gráfica de rango de operación de turbina Michell-Banki.

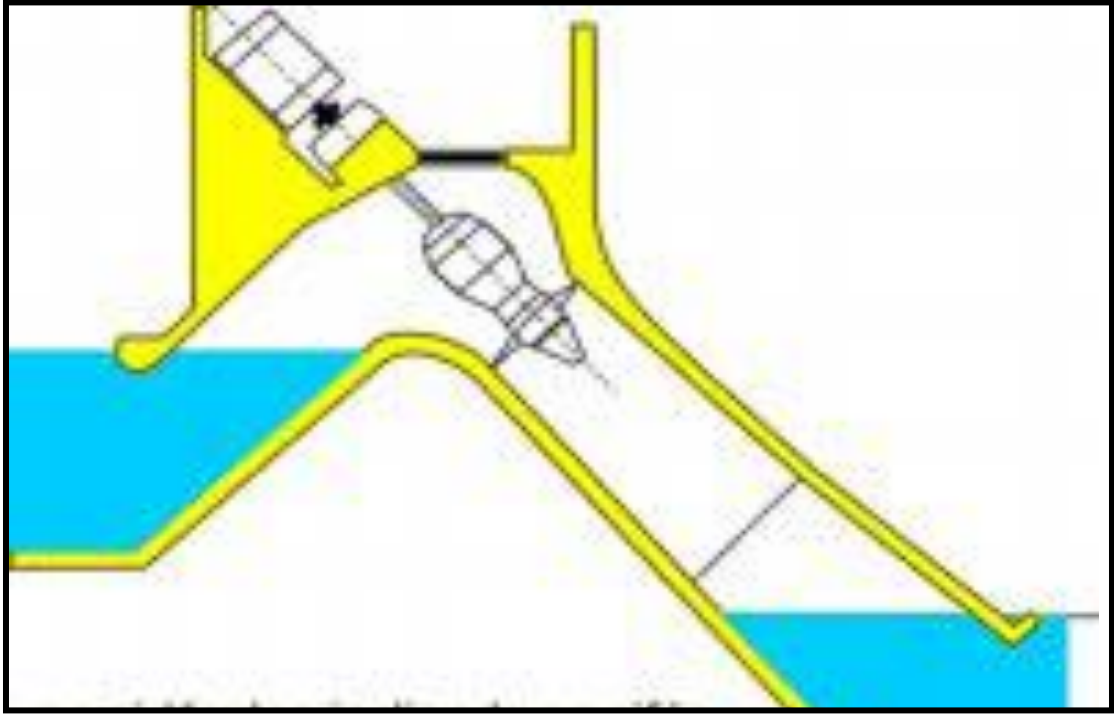
Esquema de turbina Kaplan en tubo o en S invertida



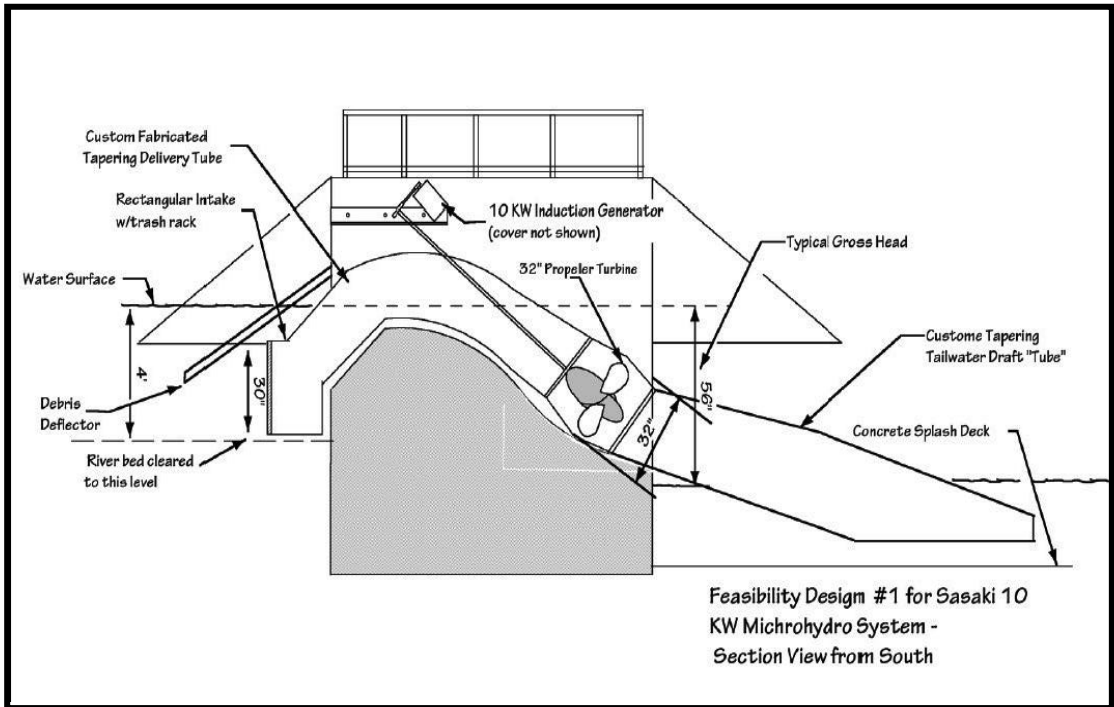
Dibujo II.4.6 Esquema típico de turbina Kaplan en tubo.



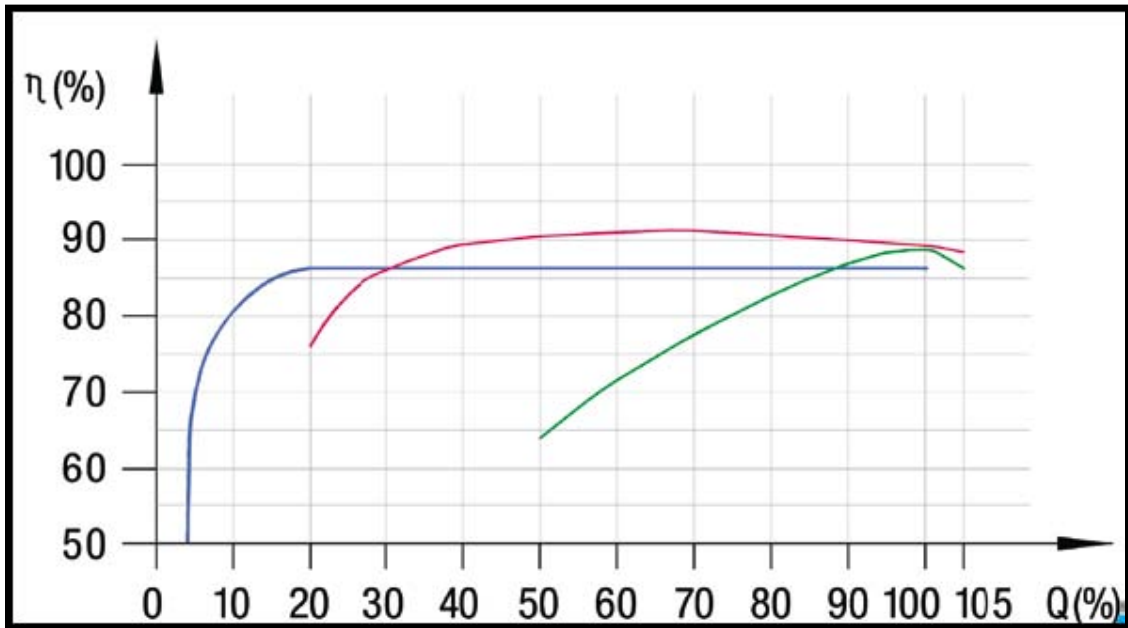
Dibujo II.4.7 Esquema de turbina semi Kaplan inclinada en sifón



Dibujo II.4.8 Esquema de turbina semi Kaplan inclinada en sifón



Dibujo II.4.9 Esquema de turbina semi Kaplan inclinada en sifón



— OSSBERGER®-Turbine — Kaplan bulb turbine wicket gate regulated — Kaplan bulb turbine double regulated

Gráfica II.4.10 Gráfica comparativa de turbinas Michell-Banki vs Kaplan.

Potencia y generación eléctrica

MICROCENTRAL CHAPULTEPEC CUERNAVACA

Alternativa	Tipo de turbina	No. de unidades	Gasto de diseño (m ³ /s)	Carga neta (m)	Potencia instalada (kW)	Potencia media (kW)	Generación media (kWh)	Factor de planta
Q36%	Banki	1	0.500	6.40	22.83	16.85	154 562	0.77
Q50%	Banki	1	0.346	6.40	15.81	12.82	127 006	0.92
Q95%	Banki	1	0.250	6.40	11.42	9.78	98 259	0.98
Q36%	Tubo	1	0.500	6.40	26.54	19.59	179 678	0.77

η turbina Banki = 0.80

η turbina Tubo = 0.93

η generador = 0.92

η transmisor = 0.988

Tabla II.4.11 Tabla comparativa de las diferentes alternativas de las turbinas Michell-Banki.

De las gráficas anteriores se deduce que: para la turbina del tipo Michell-Banki, lo único que se requiere es fabricar un soporte de concreto para la turbina y dejar preparado un hueco para la descarga del agua a una cierta profundidad, y que su eficiencia estará de Manera regular arriba del 80%. Las turbinas Kaplan y semi-Kaplan, requieren de mayor tubería para su acoplamiento y de mayor trabajo en esta, por los cortes y acondicionamiento de la misma para poder hacer el acoplamiento de la turbina, esto nos llevaría a encarecer estos trabajos ya que los debe realizar personal calificado, para la parte de soporte y descarga de la turbina podemos decir que son similares a las de la turbina Michell-Banki, la eficiencia de las Kaplan se ve mejorada a partir del 30% de su capacidad, lo cual ya muestra una limitante más.

De la gráfica de la comparación de las turbinas Kaplan y Ossberger II.4.10, se observa que: las turbinas Kaplan presentan mayor eficiencia cuando los gastos están por encima del 50% de su capacidad (la de bulbo) y aumenta gradualmente hasta que casi con el 100% de su capacidad alcanza el nivel máximo de eficiencia, esto resulta en una limitante para su selección porque para rangos de trabajo menores no se conoce su comportamiento con certeza. Para la de doble regulación, se observa que su eficiencia es alta a partir del 20% del gasto y se eleva de un 75% a 90% de eficiencia en un rango de gasto comprendido entre el 20% y el 50%, y se mantiene casi de manera constante hasta llegar al 100%, esto indica que su rango de trabajo es bastante amplio y se convierte en una buena alternativa de selección. La alternativa Banki, nos muestra que es una turbina que resulta eficiente con cualquier rango de trabajo prácticamente, ya que con el 20% del gasto alcanza su máxima eficiencia, esto la convierte en la mejor alternativa para lo que se pretende alcanzar, ya que nos permite tener un rango de trabajo desde prácticamente cero, hasta la capacidad máxima solicitada y dadas las características del tipo de ensamble y montaje que comparada con la Kaplan de doble regulación, que requiere mayor detalle en su montaje/acoplamiento y mantenimiento le brinda a la turbina Ossberger mayor ventaja.

Análisis Económico.

Para ver la parte económica del proyecto, se elaboraron las tablas siguientes para su análisis, con esto se complementa y facilita la parte de la selección de la turbina.

Concepto	Banki Q36	Banki Q50	Banki Q95
Costo Total (\$)	\$2,020,000.00	\$1,338,000.00	\$1,095,000.00
TIR antes impuestos activos (%)	24.70	31.20	29.40
Pago simple de retorno del capital (año)	5.30	4.00	4.30
Repago capital (año)	4.60	3.60	3.80
Capacidad de generación eléctrica (kW)	22.00	16.00	11.00
Capacidad firme (kW)	14.00	14.00	14.00
Factor de utilización (%)	72.40	86.30	93.30
Electricidad exportada a la red (MWh)	142.00	118.00	91.00

Concepto	Kaplan Q36	Kaplan Q50	Kaplan Q95
Costo Total (\$)	\$4,237,000.00	\$3,138,000.00	\$2,564,000.00
TIR antes impuestos activos (%)	12.50	14.00	12.80
Pago simple de retorno del capital (año)	12.70	11.10	12.30
Repago capital (año)	9.70	8.70	9.50
Capacidad de generación eléctrica (kW)	23.00	16.00	12.00
Capacidad firme (kW)	14.00	14.00	14.00
Factor de utilización (%)	74.80	87.50	93.30
Electricidad exportada a la red (MWh)	154.00	125.00	95.00

Concepto	Propela Q36	Propela Q50	Propela Q95
Costo Total (\$)	\$3,471,000.00	\$2,532,000.00	\$2,080,000.00
TIR antes impuestos activos (%)	12.60	16.50	13.10
Pago simple de retorno del capital (año)	12.60	8.90	12.00
Repago capital (año)	9.60	7.20	9.30
Capacidad de generación eléctrica (kW)	24.00	16.00	12.00
Capacidad firme (kW)	14.00	14.00	14.00
Factor de utilización (%)	61.40	82.10	93.30
Electricidad exportada a la red (MWh)	127.00	118.00	95.00

Notas:

Resultados obtenidos mediante el software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia RETScreen 4.1 por el método de Estimación de Costos por Formulas para Hidroeléctricas (recomendado para estudio a nivel de pre factibilidad)

Se considera 4% del costo total del proyecto anualmente para obras y mantenimiento

Presupuesto de Alternativas

	Alt. Banki Q36	Alt. Banki Q50	Alt. Banki Q95
Costo Total Obra Civil (OC)	\$ 208,203	\$ 208,203	\$ 208,203
Costo Total EEM	\$ 1,300,280	\$ 940,142	\$ 715,640
Costo Total OC + EEM	\$ 1,508,483	\$ 1,148,345	\$ 923,843
Imprevistos (I)	\$ 226,272	\$ 172,252	\$ 138,576
Costo Total OC+ EEM + I	\$ 1,734,755	\$ 1,320,596	\$ 1,062,419
Estudios de Ingeniería, etc.	\$ 346,951	\$ 264,119	\$ 212,484
Costo Total Proyecto	\$ 2,081,707	\$ 1,584,716	\$ 1,274,903

Tipo de cambio estimado: 1 Euro= \$16.24

Tabla II.4.12 Comparativa de Costos entre turbinas Michell-Banki vs Kaplan.

Demanda mensual de Energía

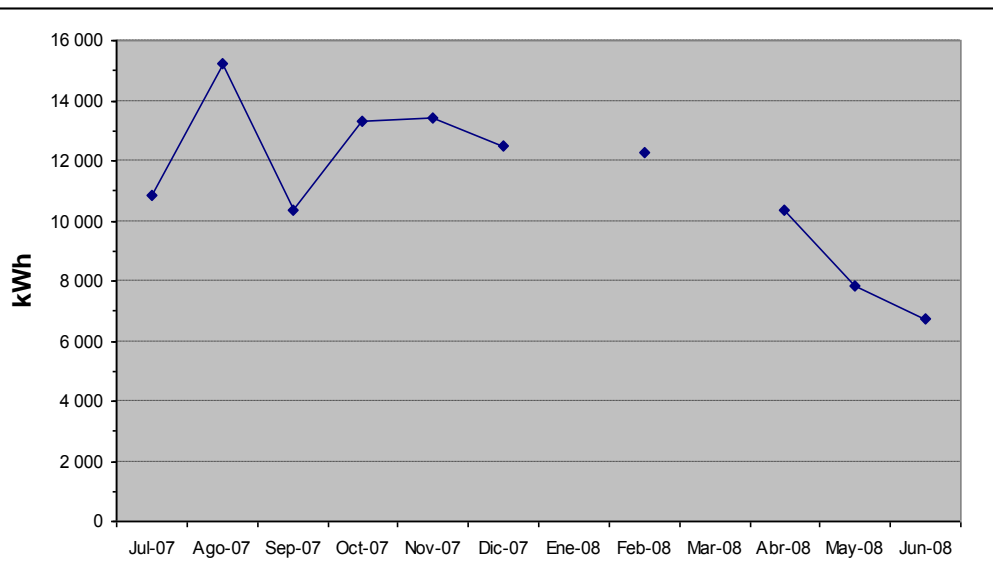


Tabla II.4.13 Gráfica de demanda mensual de energía.

Demanda mensual de Potencia

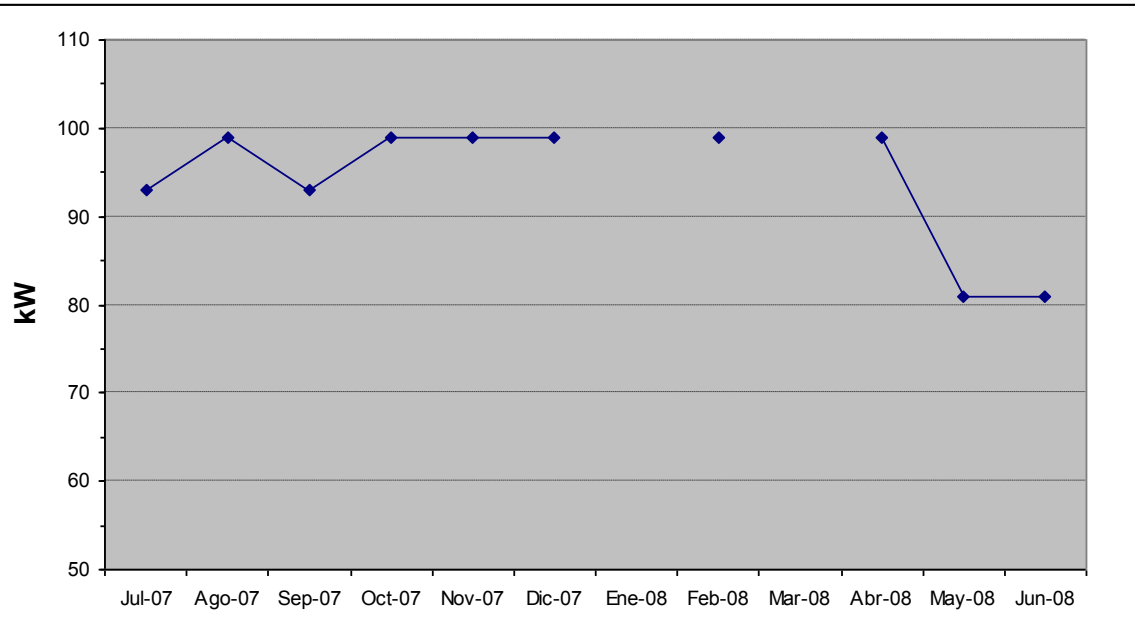


Tabla II.4.14 Gráfica de demanda mensual de potencia.

Costos de Energía Eléctrica

Costo del kWh considerado en la evaluación

Mes	kWh	kW	Importe pagado	\$ / kWh
jul-07	10,840	93	\$ 39,059.40	3.60
ago-07	15,210	99	\$ 58,295.10	3.83
sep-07	10,370	93	\$ 45,259.15	4.36
oct-07	13,320	99	\$ 56,459.75	4.24
nov-07	13,420	99	\$ 30,829.00	2.30
dic-07	12,490	99	\$ 32,224.00	2.58
feb-08	12,270	99	\$ 31,795.00	2.59
abr-08	10,360	99	\$ 27,820.20	2.69
MEDIA	12,285	98	\$ 40,217.70	3.27

Fuente: Recibos de la compañía de Luz y Fuerza del Centro del Parque Ecológico Chapultepec de julio a diciembre de 2007 y enero a junio de 2008

Tabla II.4.15 Cuadro de gasto de energía eléctrica en el parque.

Turbina Michell-Banki

Tasa de Interés de 12%

Indicadores Económicos	Alt. Banki Q36	Alt. Banki Q50	Alt. Banki Q95
Relación beneficio/costo B/C	1.659	1.790	1.722
Valor presente neto VPN	1.618	1.478	1.086
Valor anual equivalente VAE	0.201	0.184	0.135
Año de recuperación del capital ARC	8.893	7.852	8.362
Tasa interna de retorno TIR	20.23%	22.18%	21.16%

Tabla II.4.16 Cuadro de intereses de turbinas Michell-Banki.

De las gráficas II.4.11 a la II.4.16 y datos contenidos en las mismas podemos decir que: la turbina que presenta la mejor alternativa económica es la de Michell-Banki, por el costo de inversión en el equipo en sus 3 alternativas que de entrada resultan más baratas con respecto a las de la turbina Kaplan, lo que es determinante para su selección. Esto también debido a las restricciones presupuestales que enfrenta el Parque así como la CEAMA, no obstante se construirá con dinero proporcionado por la CEAMA para el desarrollo de nuevas fuentes alternativas de energía en el Estado de Morelos.

Conforme a lo desarrollado en este punto 2.4, **se decide tomar la alternativa de la turbina Michell-Banki**, porque cumple con los 7 puntos solicitados al inicio de este capítulo y adicionalmente por:

- Cumple con las condiciones del proyecto
- Cumple con las ventajas manejadas párrafos arriba
- No requiere de trabajos adicionales de ensamble ni de infraestructura
- Montaje simple y no requiere técnicos ni equipo especial

También se puede complementar que las condiciones de su ensamblaje son demasiado sencillas, ya que solamente se requiere la colocación de viguetas tipo “C” suministradas por el fabricante para su soporte, el manejo y operación puede hacerlo cualquier persona con conocimientos técnicos mínimos y que no necesita tener grado de ingeniero o similar, así como que no se requieren trabajos adicionales que alteren la vista propia del lugar y reduzca visibilidad y/o acceso al lugar de esparcimiento por parte de los visitantes, y a que el proyecto arquitectónico se adecuara a la arquitectura existente del lugar sin alterar en mayor medida las condiciones prevalecientes en el Parque Ecológico.

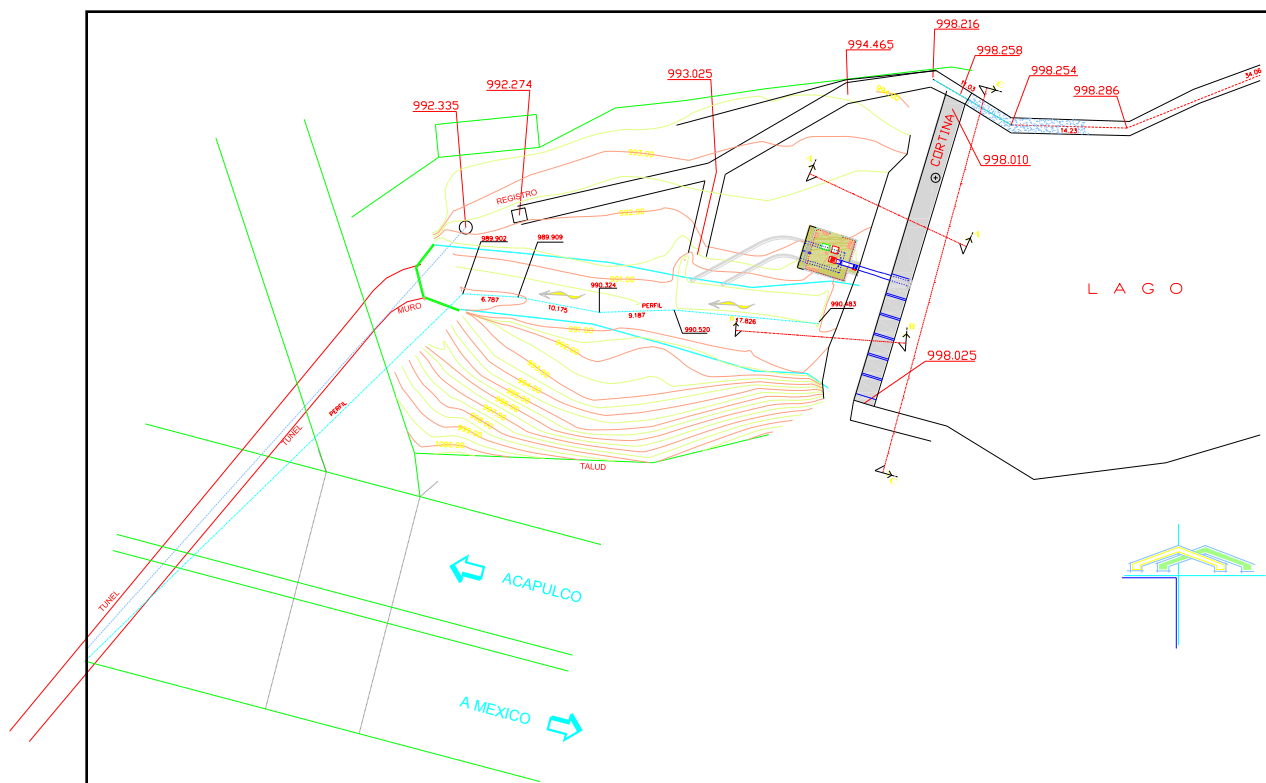
Los siguientes dibujos II.5.1, II.5.2 y II.5.3 muestran la viabilidad de la alternativa propuesta y de las condiciones reinantes en el sitio de trabajo, así como un corte

longitudinal de cómo queda la propuesta. Debido a que las condiciones de fabricación de las turbinas están en función de lo que se solicite o demande, estas se fabrican bajo pedido y las dimensiones de las mismas están sujetas al diseño específico de cada demanda en particular para su fabricación, por lo tanto el área mínima donde se ubicara está en función de lo antes expuesto y hasta tener la especificación de diseño del manufacturero.

2.5. Esquema del Proyecto

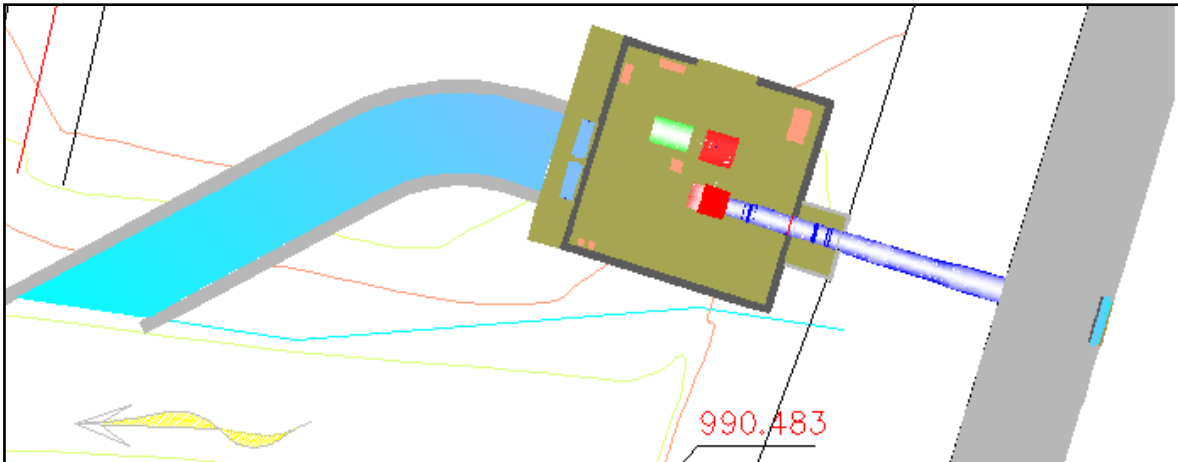
Se presenta a continuación un esquema del proyecto (Dibujo II.5.1, II.5.2 y II.5.3) de manera general con sus elevaciones y cortes así como la ubicación del mismo, deberá adecuarse a las condiciones que proporcione el manufacturero de las dimensiones de la turbina así como, las propias del terreno para cumplir con lo proyectado, especialmente con las elevaciones que son la parte medular para el óptimo aprovechamiento de la carga hidráulica propuesta.

Planta General – Alternativa Michell-Banki



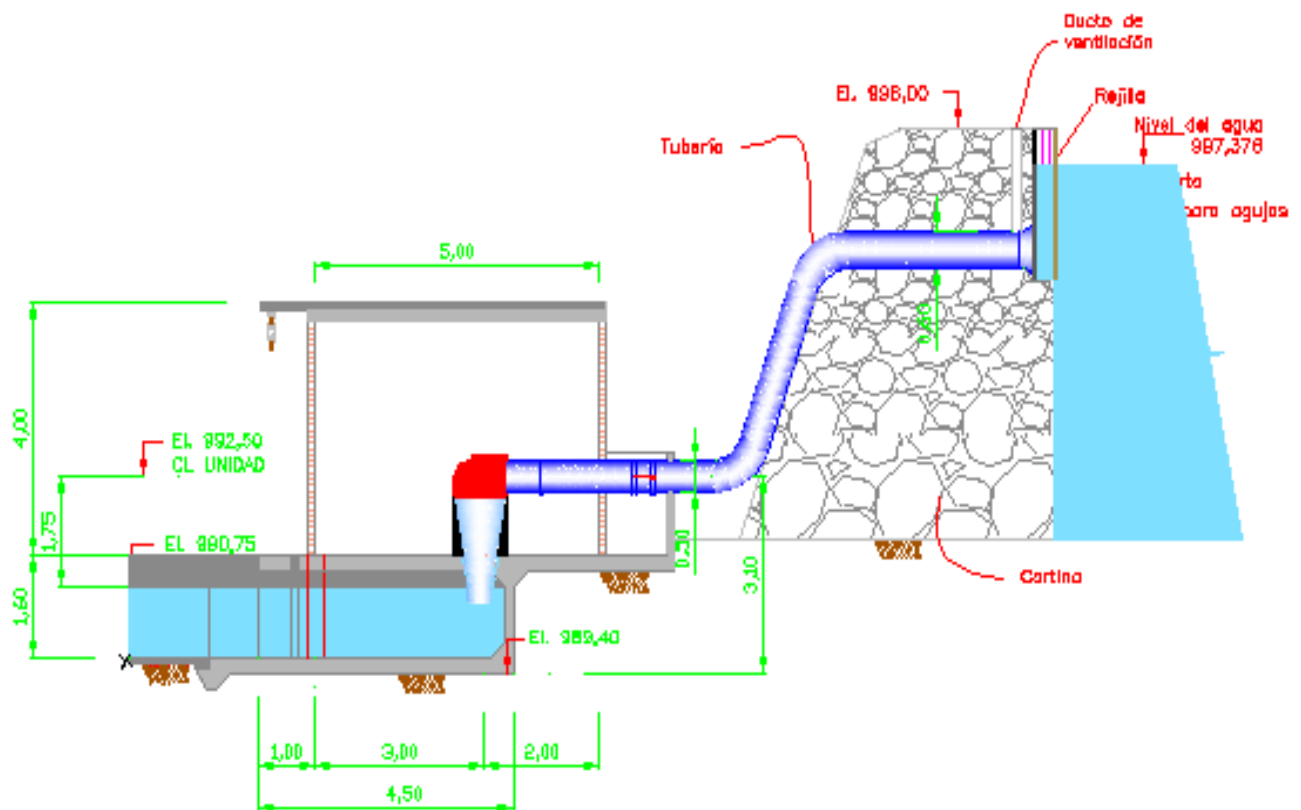
Dibujo II.5.1 Planta esquemática de distribución de espacios de la Planta Generadora de Energía.

Planta Casa de Maquinas – Alternativa Michell-Banki



Dibujo II.5.2 Vista en planta de arreglo de Planta Generadora de Energía.

Corte Longitudinal – Alternativa Michell-Banki



Dibujo II.5.3 Corte de arreglo general de Planta Generadora de Energía.

CAPÍTULO III

Infraestructura

3.- Infraestructura.

3.1.- Recomendaciones del Manufacturero

Dada la selección de la turbina $Q36= 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ solicitada al manufacturero, que en este caso particular es alemán (OssbergerGmbH +Corporation), este procedió a el diseño y dimensionamiento de la turbina, ya que para cada caso en particular se diseñan las turbinas a la medida de las necesidades y requerimientos particulares del proyecto, esto tiene la finalidad de hacer propio el proyecto y sacarle la mayor ventaja posible, con los datos enlistados abajo para su diseño, manufactura y generación; una vez definida esta parte, recibimos su propuesta de dimensionamiento (Dibujos III.1.1, III.1.2 y III.1.3) y procedemos al cálculo de los diferentes elementos que conformaran la casa de máquinas, se acude al sitio de trabajo para verificar las condiciones del terreno y las problemáticas que pudiera presentar y con esto, establecer con certeza que el diseño y el cálculo estarán apegados a las normas de construcción y adecuadas a las condiciones imperantes en el sitio de trabajo.

Datos finales empleados para diseño de la turbina:

$$\mathbf{H_n = 5.8 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Q = 500 \text{ l/s}}$$

$$\mathbf{N_t = 25.6 \text{ KW}}$$

Donde:

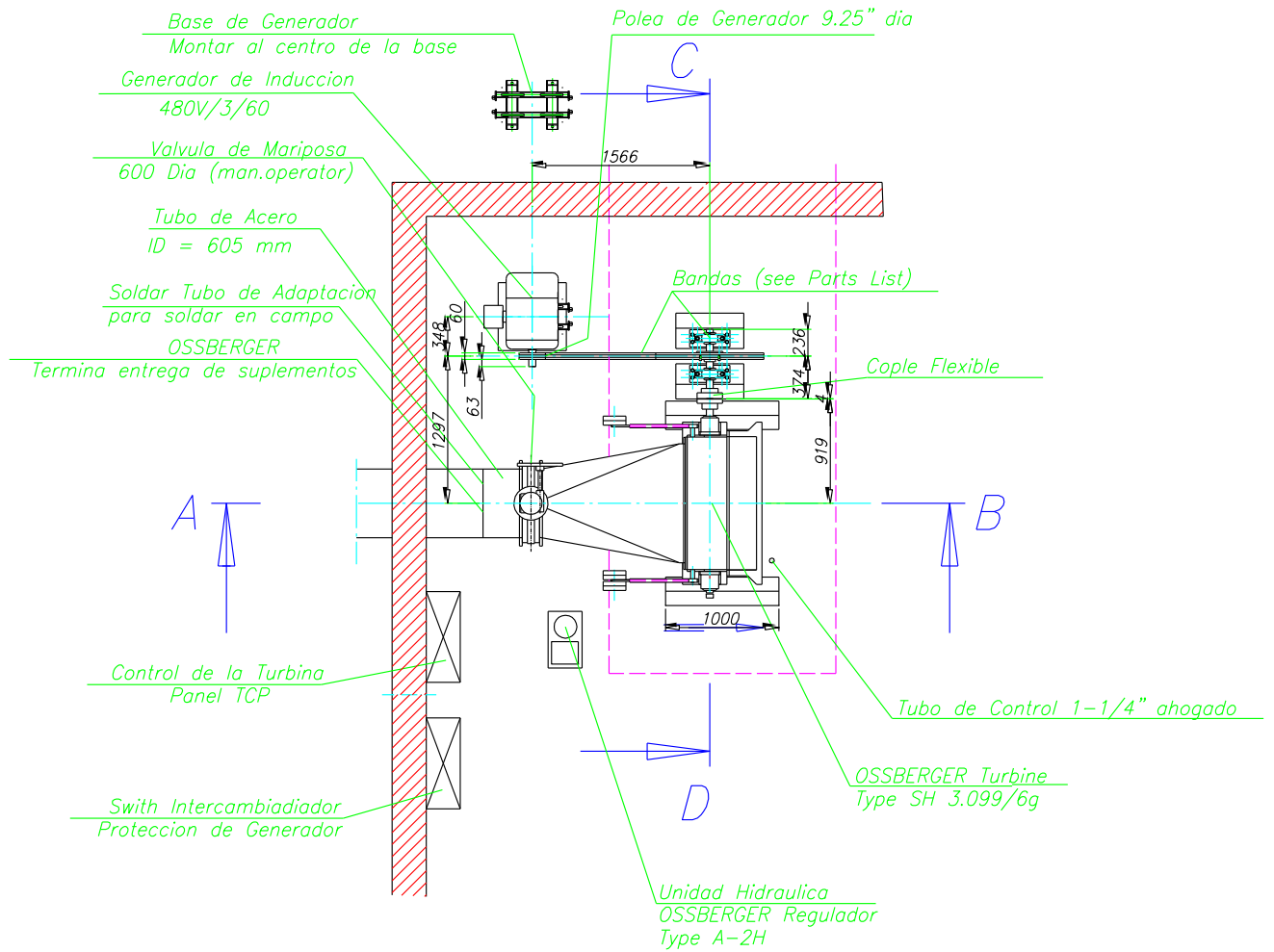
H_n = Altura de carga neta en m

Q = Gasto en l/s

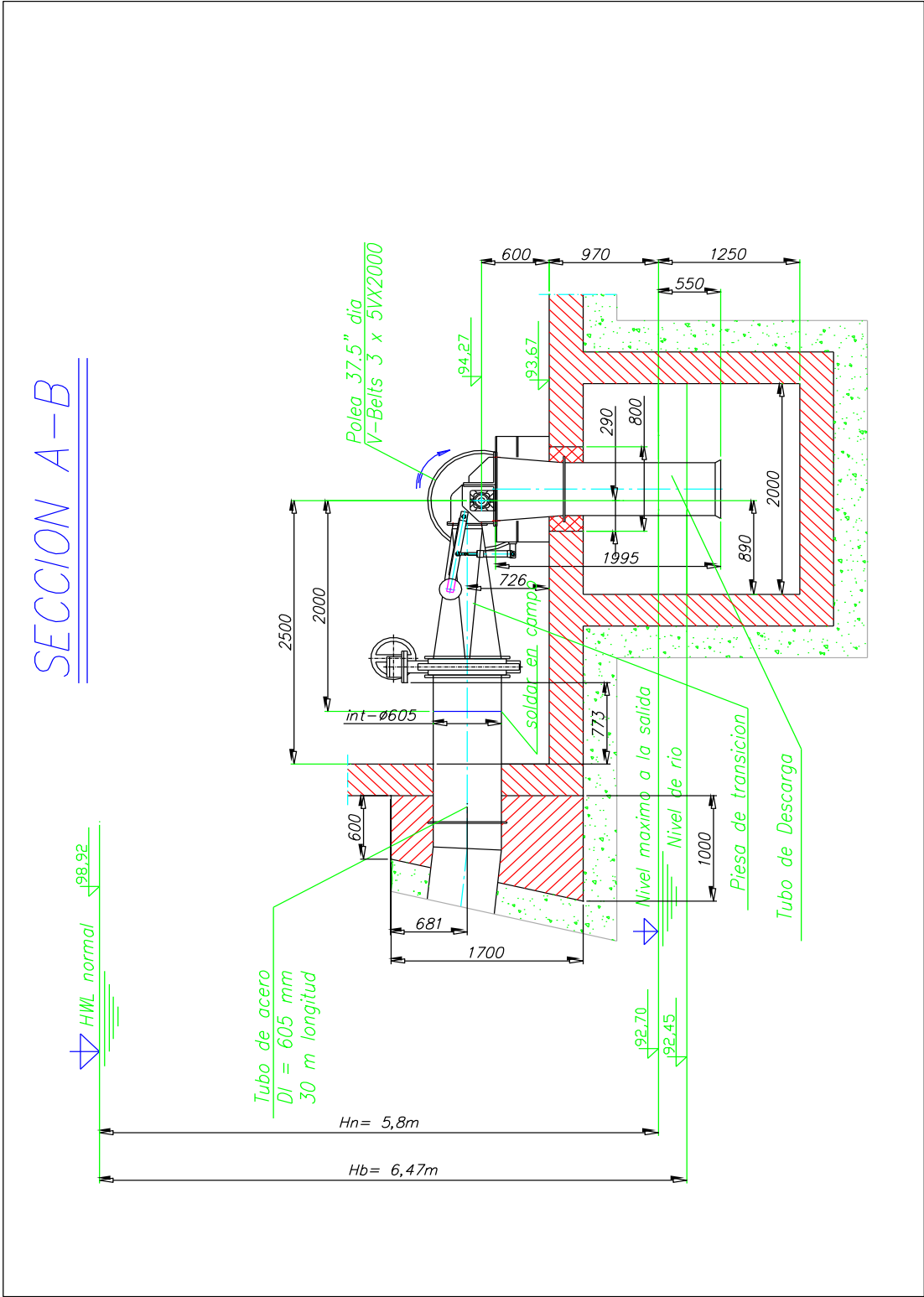
N_t = Generación de Potencia Neta en KW

Se muestran a continuación los planos del manufacturero (fabricante) enviados a partir de su diseño para que se pueda desarrollar la parte civil y de cómo requiere la ubicación de sus equipos, las elevaciones, cortes y dimensiones mínimas a cumplir por nuestra parte para el buen montaje, funcionamiento y operación de los equipos solicitados.

VISTA EN PLANTA

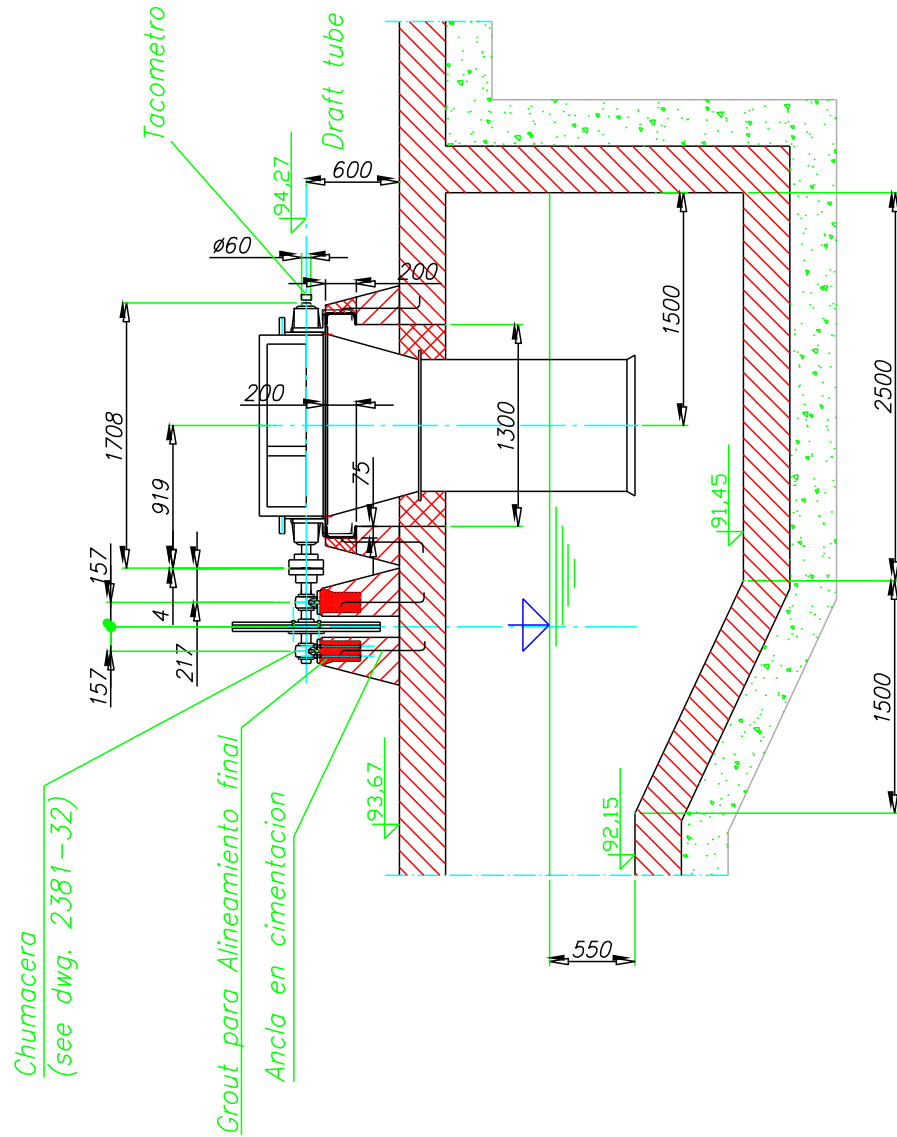


Dibujo III.1.1 Vista en planta de propuesta de fabricante.



Dibujo III.1.2 Corte de arreglo general de propuesta de fabricante.

SECCION C-D



Dibujo III.1.3 Corte longitudinal de arreglo general de propuesta de fabricante.

Con esta información se procede al cálculo de la cimentación, así como del espacio interior que tendría el cuarto de máquinas para albergar la turbina, cabe mencionar que, se solicita por parte de la CEAMA un espacio adicional para albergar gradas donde puedan sentarse 30 alumnos para cuestiones didácticas.

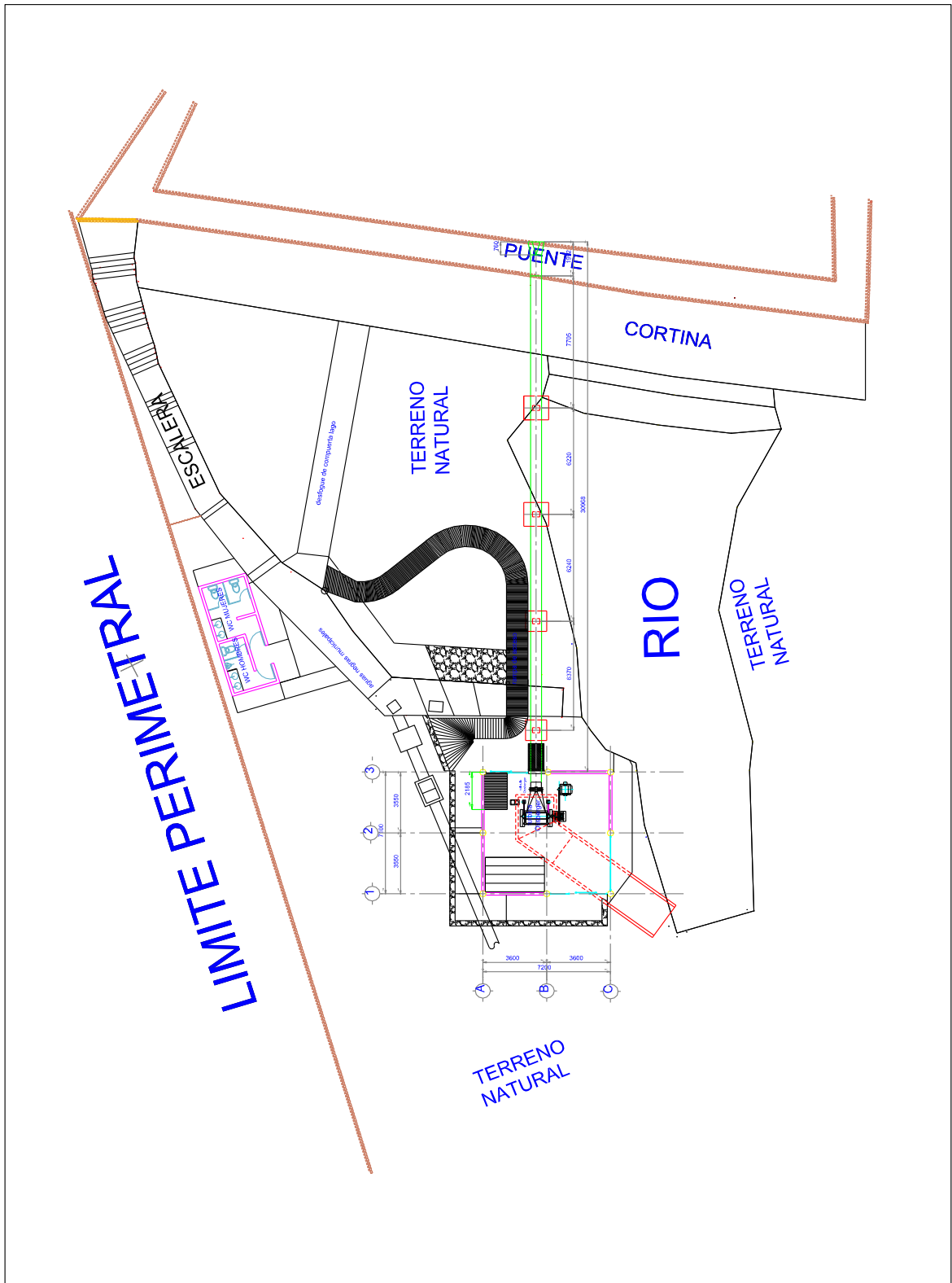
3.2.- Dimensionamiento de la Casa de Máquinas

Dentro de las facilidades que ofreció el manufacturero por la venta del equipo fue la visita de un técnico especializado de la cual se obtuvieron observaciones, una de ellas fue: la modificación en la altura neta hidráulica, ya que originalmente se había proyectado una altura de $H_n = 6.399$ m puesto que la casa de máquinas se ubicaría junto a la cortina; debido a que las condiciones del terreno por la altura que tenía nos llevaría a tener que realizar sobre excavaciones, esto debido a que el nivel de descarga de la turbina quedaba por debajo del nivel del escurrimiento natural del río en por lo menos 1.30 m, porque de hacerlo así, se tendría que bajar el nivel del escurrimiento del río y llevar a cabo una excavación del terreno para el canal de desfogue más allá de 4.5 m, lo que no es viable por el costo y por tiempo, teniéndose una diferencia de 0.599 m de la que hay que salvar con la altura original y finalmente con los desniveles existentes del terreno y el escurrimiento del río solo se tendrá una altura de $H_n = 5.800$ m, se determinó la nueva localización de la casa de máquinas a 25 m retirada de la cortina, con esto se logró salvar cualquier interferencia que pudiera haber para la construcción, porque en el área se localizan, un canal de desfogue de la cortina y tubos de drenajes municipales con 4 registros. Otro beneficio ofrecido por el técnico en la visita fue que, nos dio un rango mayor de admisión del gasto de la turbina, quedando este en $Q = 550$ l/s obteniendo un rango de 50 l/s mayor del solicitado originalmente.

A solicitud expresa de la CEAMA, se requiere que esta casa de máquinas tenga el tamaño suficiente para albergar a 30 estudiantes sentados para instruirlos en el funcionamiento y operación de la generación de energía, cosa que no se contempló originalmente, se tienen restricciones de terreno por el paso del drenaje municipal, árboles de gran tamaño y por lo antes expuesto en el párrafo arriba; y finalmente se llegó a las dimensiones siguientes: casa de máquinas en 7.10x7.20 m teniéndose una altura mínima de 4.00 m y máxima de 5 m, pendiente en el techo con descarga libre hacia el río, mas pasillos y banquetas de acceso. Los niveles consensados con la visita del técnico especializado de la manufacturera quedaron en (mostrados en los planos proporcionados por el fabricante): para el piso terminado de la casa de 93.67 m, el nivel de piso de la fosa en 91.45 m, el nivel de inicio de descarga de agua del canal en 92.15 m, nivel máximo de

descarga en fosa y al inicio del canal en 92.70 m, el nivel superior del agua en la represa 98.92 m, nivel de pasillo/puente de la cortina en 100.00 m (usado como punto de referencia principal), nivel medio de la toma en la cortina en 97.42 m, nivel de admisión de la toma de la turbina en 94.42 m, la tubería de conducción del agua será de acero calibre 40 y tendrá un diámetro de 625 mm (24”), se fabricara una boquilla de admisión para evitar que se formen burbujas de aire en la toma, sigan por el interior del tubo y finalmente lleguen a la turbina provocando cavitación en la misma, la tubería será soportada por 4 apoyos distribuidos a lo largo de su trayectoria, se fabricará un atraque en la entrada hacia la casa de máquinas para contener cualquier empuje que genere el movimiento del agua como el golpe de ariete por ejemplo que se generaría por algún paro súbito o de emergencia de la turbina. En la trayectoria de la tubería se opta por dejarla con la pendiente suficiente y recta para evitar el canal de desfogue de la cortina, también con esto se reducen trabajos de corte y soldadura adicionales. Las instalaciones deberán contar con baños independientes de las instalaciones de la casa de máquinas, y toda la obra civil, deberá seguir la arquitectura del lugar y estar en armonía con el medio circundante en el sitio de trabajo.

El dimensionamiento y la ubicación final del cuarto de la turbina así como la indicación de los datos expuestos en el párrafo anterior se muestran en el siguiente plano III.2.1:



Dibujo III.2.1 Vista en planta de arreglo general de Planta Generadora de Energía.

CAPÍTULO IV

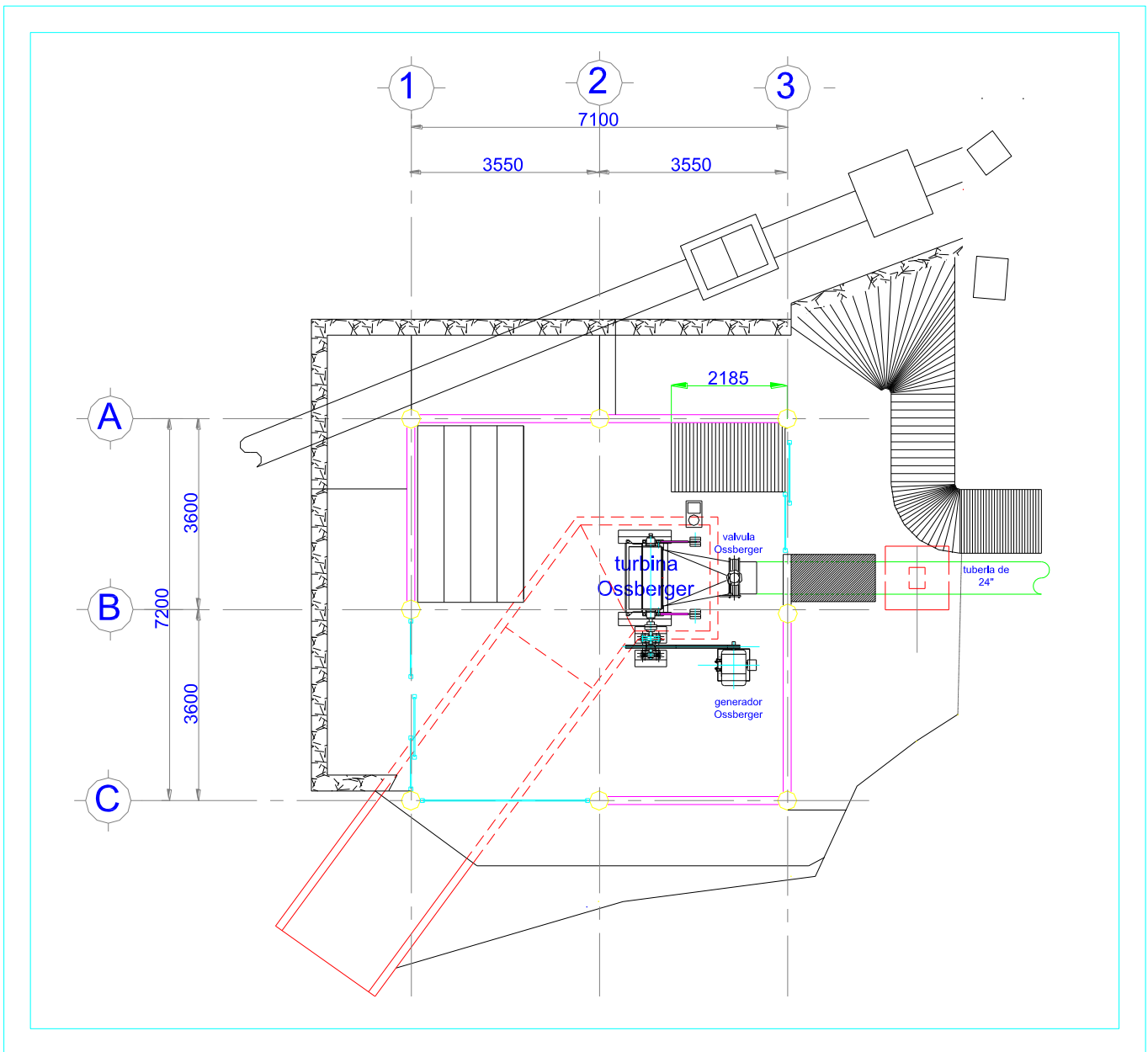
Proceso Constructivo

4.- Proceso Constructivo.

4.1.- Trazo y Nivelación.

Se procedió a la ubicación de la casa de la turbina, localizándola de acuerdo a las dimensiones establecidas para ello, ubicándola en el sitio evitando las interferencias con el drenaje y el desfogue de la compuerta de la cortina, las dimensiones se establecieron de acuerdo a la solicitud de la CEAMA de dejar espacio suficiente para ubicar gradas y albergar 30 personas en ellas, se orienta de manera casi paralela a la cortina, no se deja paralela porque la restricción de la entrada o admisión de agua de la turbina debe estar obligatoriamente perpendicular a la tubería para por medio de un cono de distribución se lleva el agua hacia el rodete, esto nos limita y nos rige. Como se mencionó, la admisión de la toma de agua en la turbina requiere que este a 90º a la ubicación de la turbina (por diseño), se buscó dejar alineada la turbina paralelamente (en su lado más largo) con uno de los ejes de la casa de máquinas, de haberse colocado de otra forma, su posición hubiese quedado dando la forma de estar descuadrada y no se apreciaría en toda su dimensión, esto motiva que en la toma (bocatoma) de la cortina esta no sea perpendicular a ella, ya que el eje de la cortina no es paralela a los ejes de la turbina, por lo que se deberá hacer un corte en el tubo de admisión para dejarla al ras de la pared interior de la cortina y evitar que sobresalga de la misma.

En el plano IV.1.1 siguiente se muestra la manera en que quedo localizada la casa de máquinas, donde también puede verse la ubicación de la turbina, su admisión, el generador así como el canal de descarga.



Dibujo IV.1.1 Vista en planta de arreglo de casa de máquinas.

4.2.- Excavación, Cimentación y Estructura

El proceso de excavación para la cimentación se tornó difícil porque los trabajos empezaron con la temporada de lluvia, se verificaron los niveles de excavación para evitar sobre excavación del terreno (ver planos suministrados por fabricante, capítulo 3), ya que en el área se encuentran árboles de gran tamaño los cuales sus raíces abarcan una gran extensión de terreno y algunas de ellas estaban en el paso o cruce de la cimentación, se tuvieron que cortar lo mínimo necesario para evitar daños irreversibles a estos y que pudieran ocasionar que los árboles se secaran, dichos árboles están bajo supervisión constante en su crecimiento por parte de personal especializado con que cuenta el parque. Las dimensiones de la casa de la turbina fueron de 7.1 x 7.2 m quedando un canal de desfogue para el agua de sección rectangular de 2.0 x 1.5 m, con una pendiente de salida del 2%, se determinó hacer un cuarto de una sola caída donde la altura menor se consideró de 4.25 m y 4.95 m como altura mayor, los muros se consideraron de block hueco de 12x20x40 con juntas de mezcla de proporción 1:5 de 1 cm de espesor, recubrimiento en muros a base de mezcla de cemento arena en proporción de 1:4 acabado rústico, para el piso interior se consideró loseta de 40x40 cm, las banquetas fueron hechas de concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ acabado con llana y escobillado, la cancelería fue a base de aluminio blanco de 3" con vidrios de 6 mm de espesor en los cancelles grandes, y las ventanas superiores con vidrio de 3 mm.

En el armado de la cimentación el cálculo arrojó varillas del #3 principalmente, mismo que se muestra en los cuatro siguientes dibujos IV.2.17, IV.2.18, IV.2.19 y IV.2.20 su distribución así como también los castillos, columnas, muros, losas y pasillos:

Para tener un mejor panorama de cómo se determinaron los armados y secciones de los diferentes componentes del cuarto de máquinas, en el anexo 1 se muestra la memoria de cálculo.

Las fotografías 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8, 4.2.9 y la 4.2.10 nos muestran los pasos seguidos, las etapas constructivas y las dificultades que se sortearon durante la ejecución de los trabajos.

Las fotografías 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15 y la 4.2.16 muestran la continuación de la estructura del cuarto de máquinas, secuencia de armados y del proceso constructivo:

Y en los dibujos IV.2.17, IV.2.18, IV.2.19, IV.2.20, IV.2.21 y IV.2.22 vemos los diferentes armados estructurales con sus respectivos cortes de la casa de máquinas.



Foto 4.2.1 Desfogue de compuerta



Foto 4.2.2 Área de casa de turbina



Foto 4.2.3 Inicio excavación fosa



Foto 4.2.4 Excavación y nivelación piso



Foto 4.2.5 Excavación fosa y salida



Foto 4.2.6 Excavación de salida/descarga



Foto 4.2.7 Armado muros de fosa



Foto 4.2.8 Armado de piso de fosa



Foto 4.2.9 Cimbrado muros de fosa



Foto 4.2.10 Muros de concreto en fosa



Foto 4.2.11 Armado de columnas



Foto 4.2.12 Losa tapa de fosa y descarga



Foto 4.2.13 Muros de cuarto de máquinas



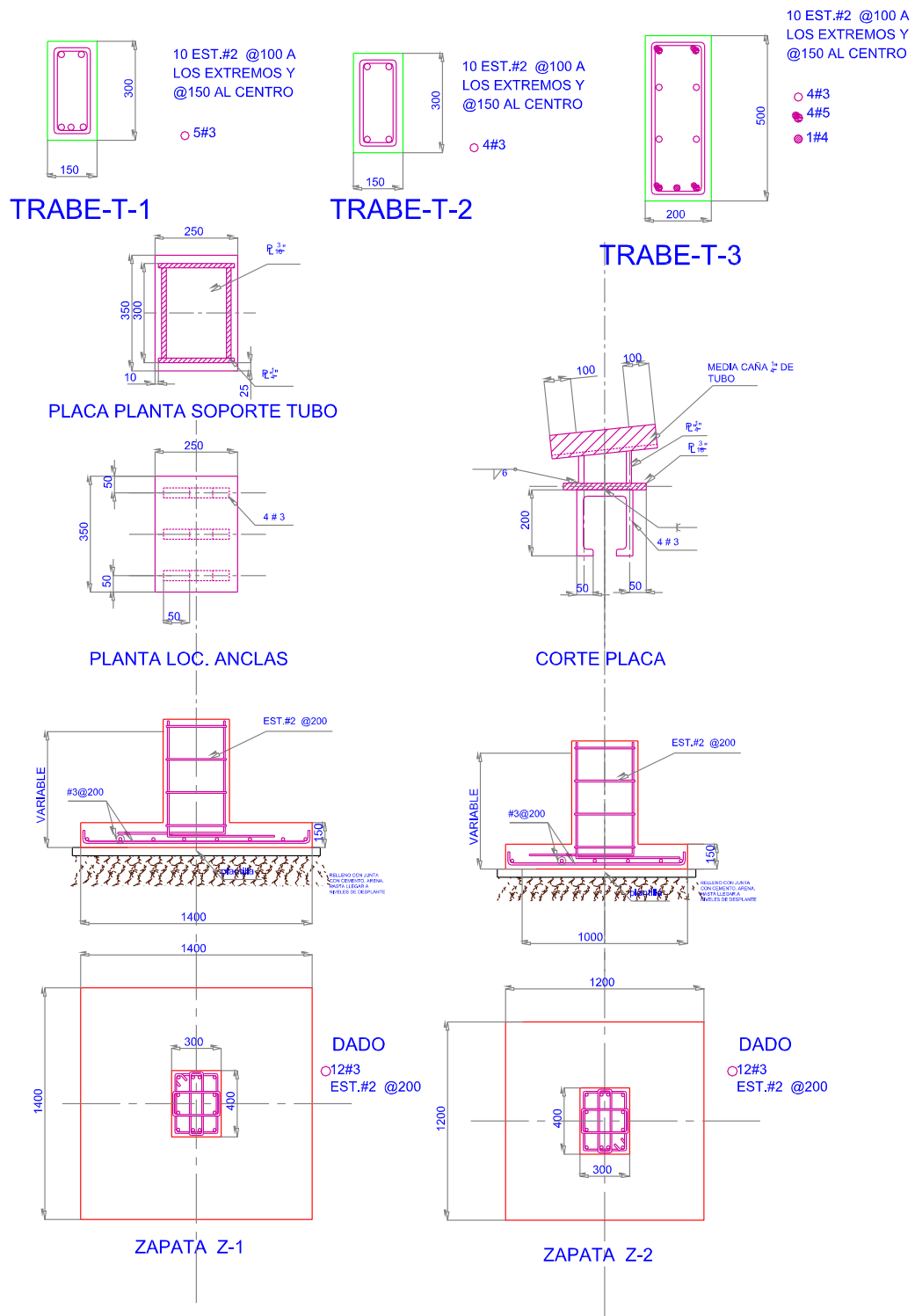
Foto 4.2.14 Trabes de cuarto de máquinas



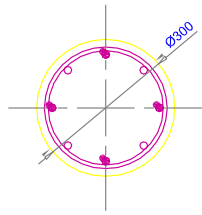
Foto 4.2.15 Celosía de losa



Foto 4.2.16 Cuarto de máquinas



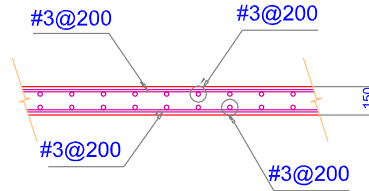
Dibujo IV.2.17 Secciones y armados de zapatas y traveses.



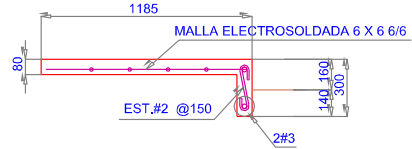
COLUMNA C-1

ZUNCHO DE VAR.
#2 CON Z=10

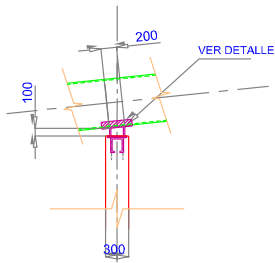
- 4#5
- 4#3



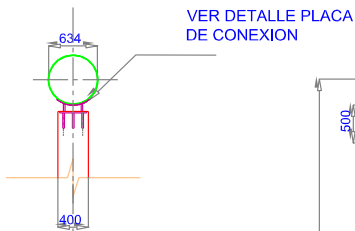
DETALLE MURO FOSA



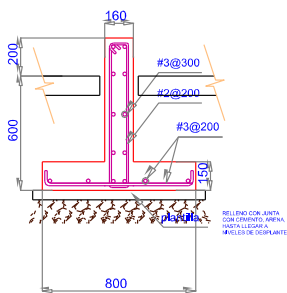
DETALLE ZP-1



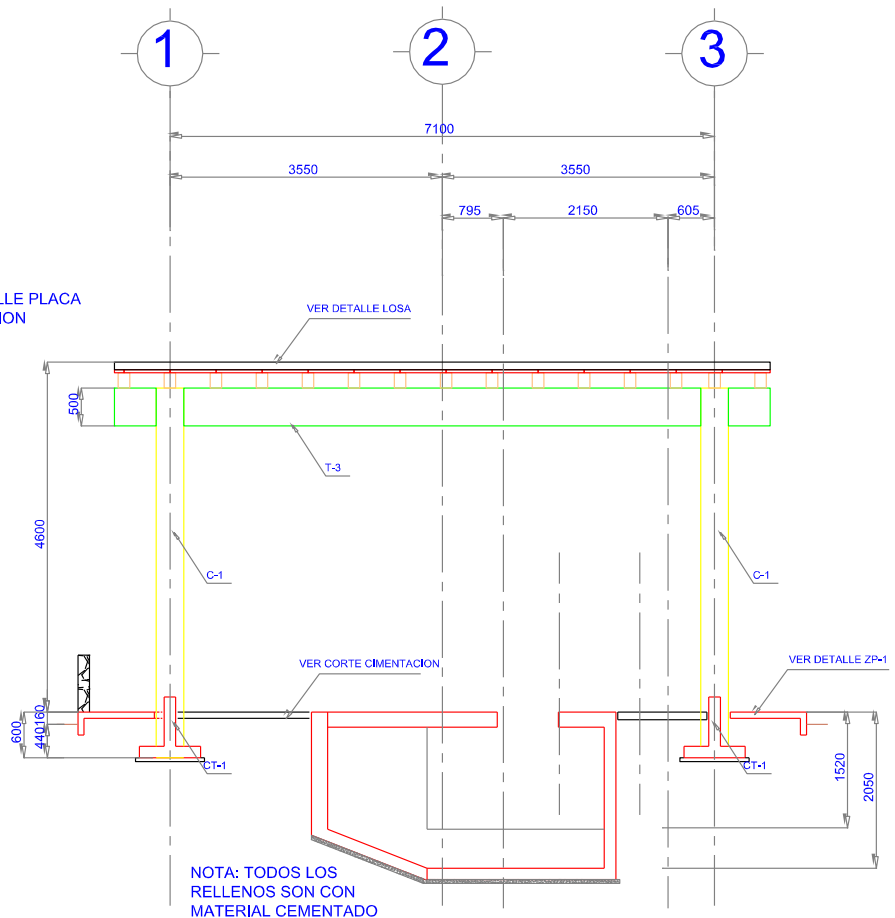
DETALLE CONEXION TUBO



CORTE TUBO

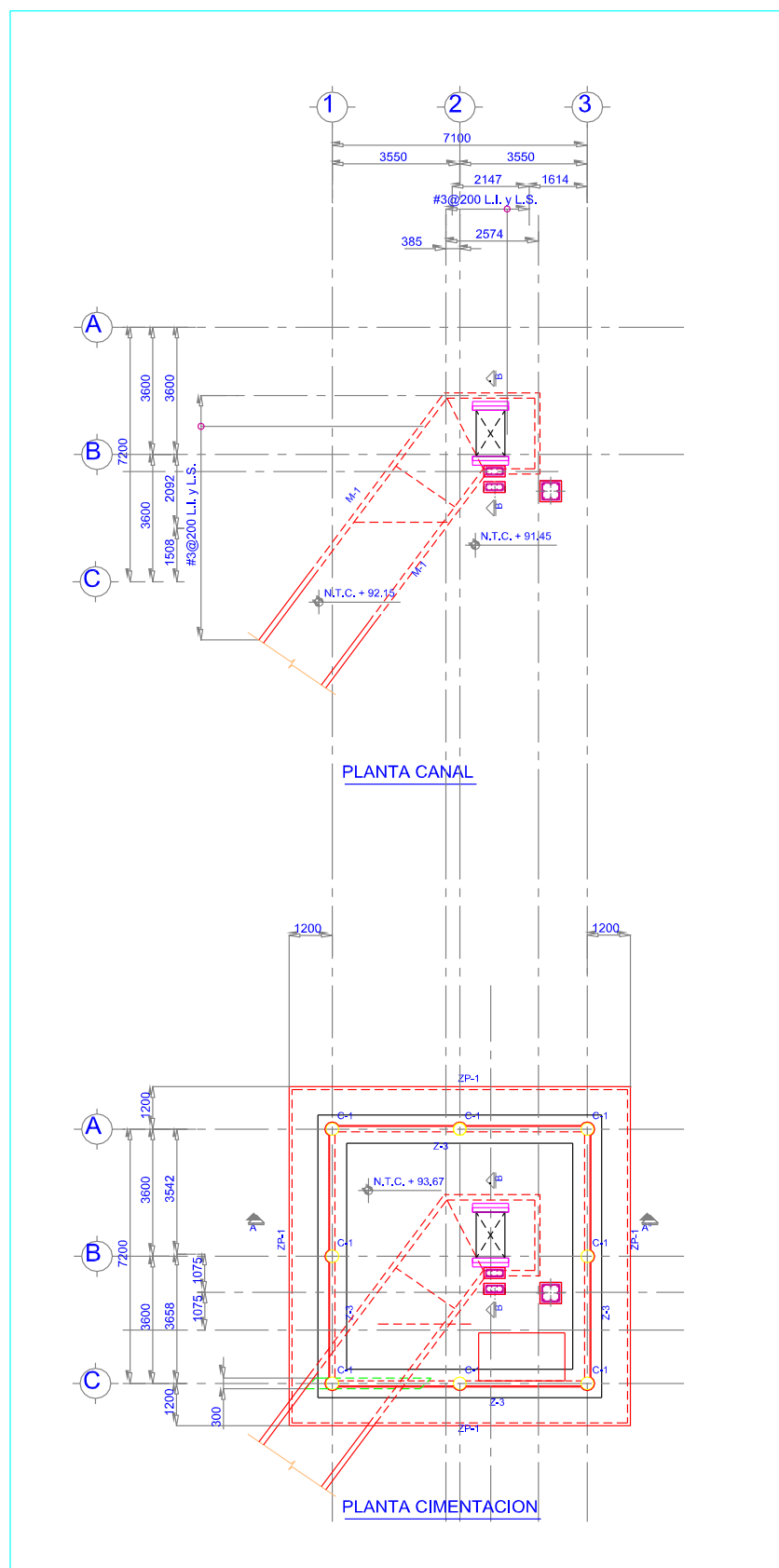


ZAPATA Z-3

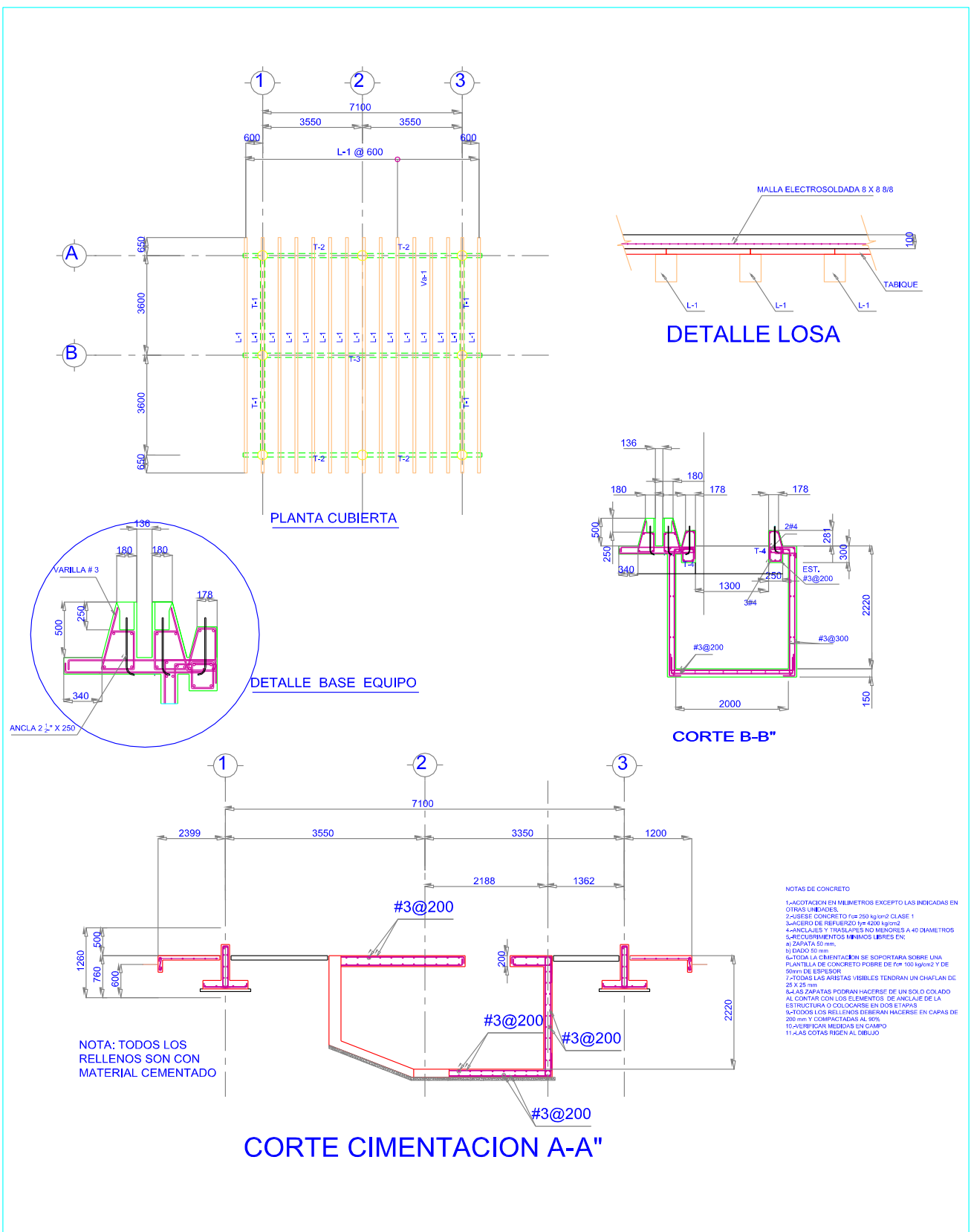


ELEV. EJE B

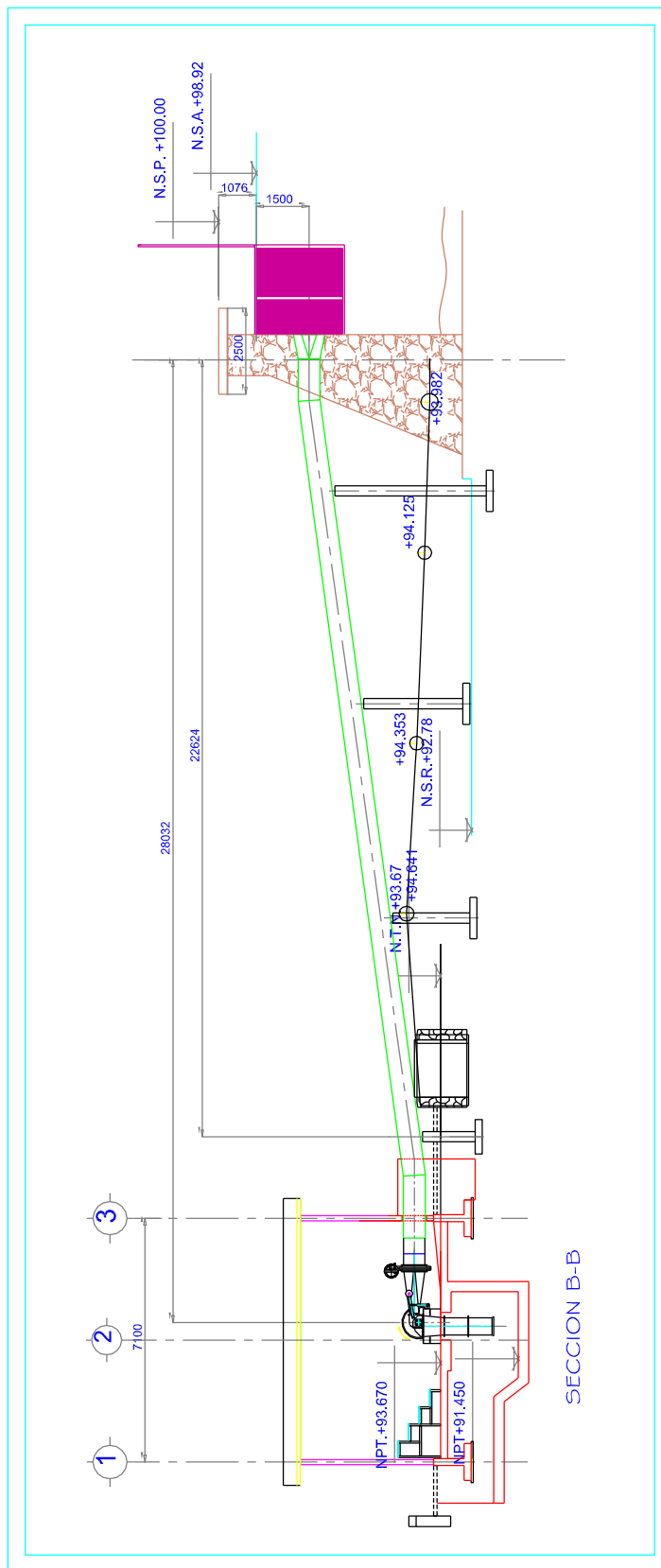
Dibujo IV.2.18 Secciones y armados de zapatas y conexión de tubo.



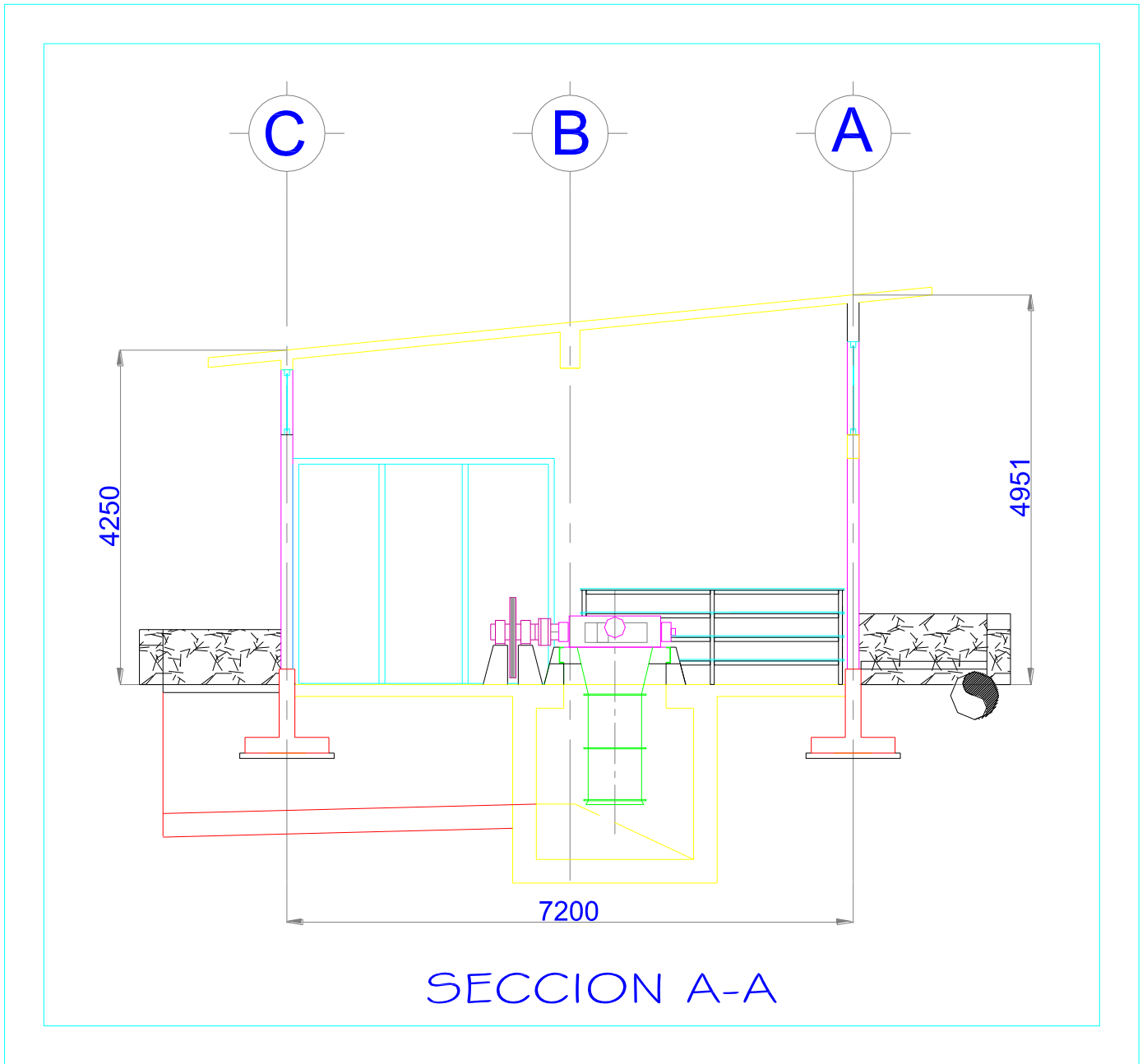
Dibujo IV.2.19 Vista en planta de fosa de descarga y canal de salida.



Dibujo IV.2.20 Vista en corte de armado de fosa de descarga y techo de la casa de máquinas.



Dibujo IV.2.21 Vista lateral de arreglo general.



Dibujo IV.2.22 Vista de sección frontal de la casa de máquinas.

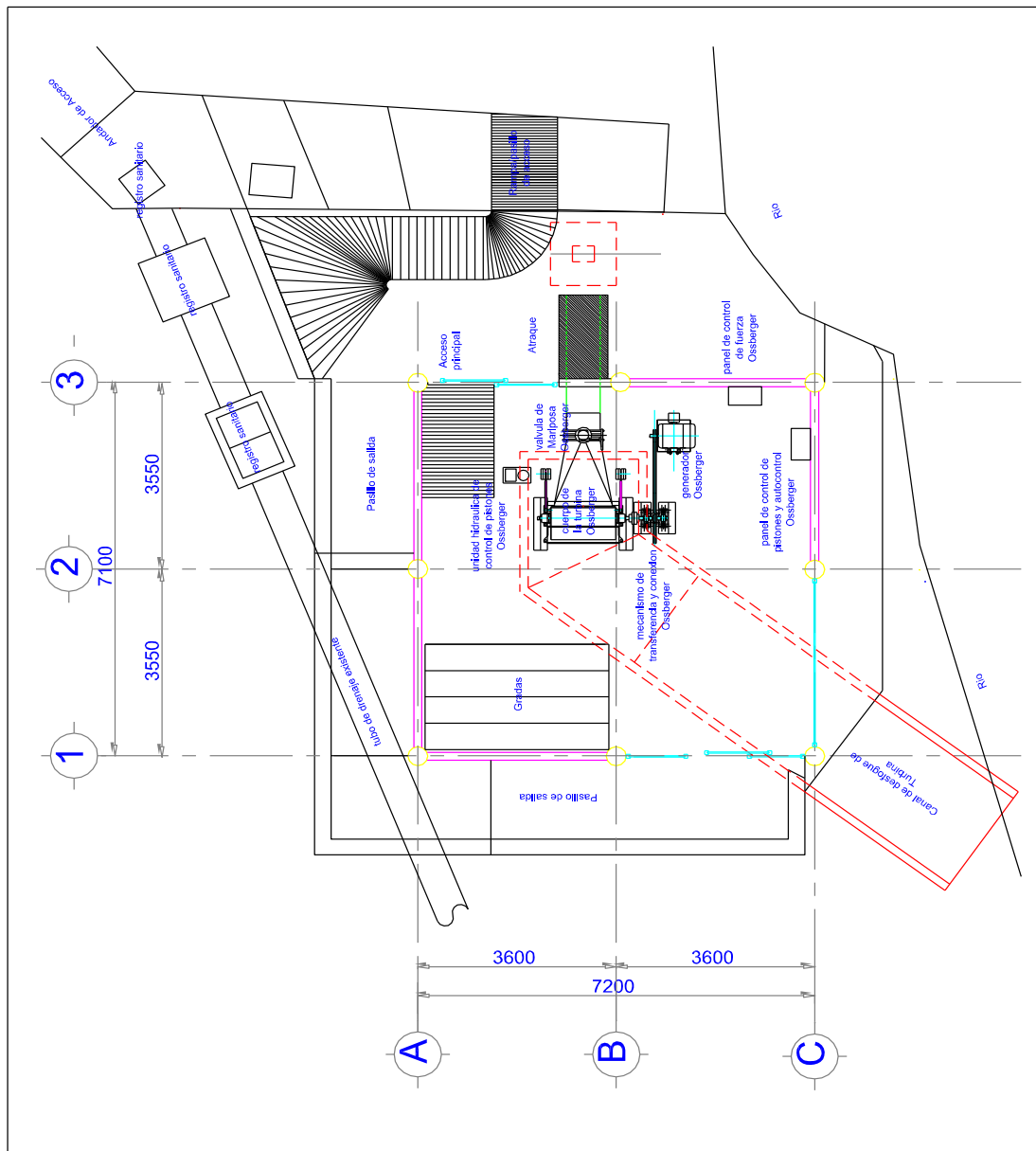
CAPÍTULO V

Puesta en Marcha

5.- Puesta en Marcha.

5.1 Ubicación de Equipos

La ubicación final de los equipos puede verse en el siguiente plano V.1.1 y una vez localizados y montados, se realizan pruebas de funcionamiento, cuidando que estén dentro de las tolerancias establecidas por el fabricante para su correcta operación.



Dibujo V.1.1 Vista en planta de arreglo general.

Las fotografías 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5 y la 5.1.6 muestran el lugar final de los equipos dentro de la casa de máquinas:



Foto 5.1.1 Turbina



Foto 5.1.2 Generador



Foto 5.1.3 Turbina y polea



Foto 5.1.4 Ubicación general



Foto 5.1.5 Válvula y toma de agua



Foto 5.1.6 Válvula y manómetro

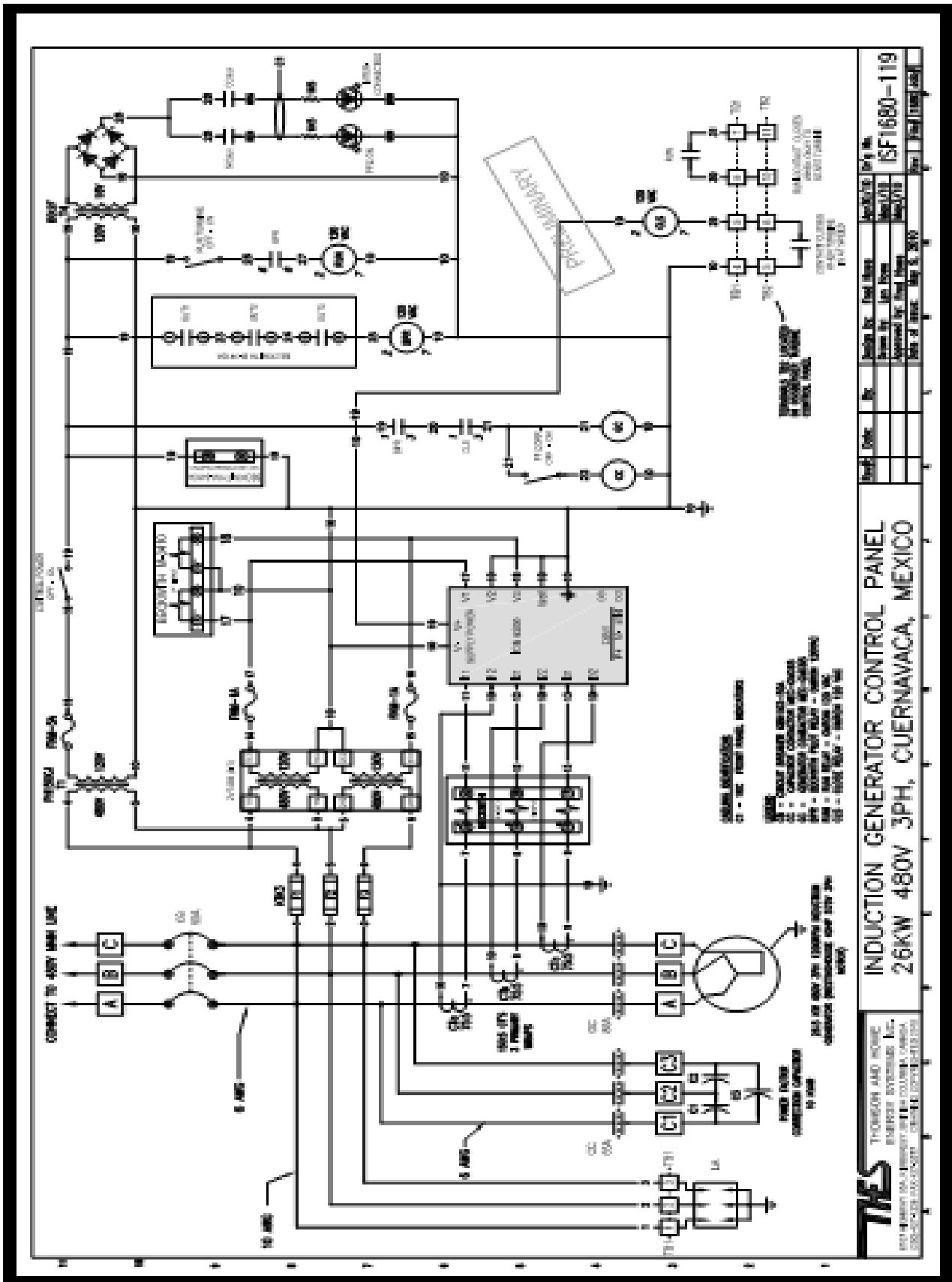
5.2.- Diagramas Unifilares

Empezaremos por definir que es un diagrama unifilar:

“Un diagrama unifilar es: la representación con símbolos de todas las partes que componen un sistema de potencia (eléctrico) gráficamente, tomando en cuenta todas las conexiones que hay entre ellos, para lograr una visualización completa del sistema de una manera más sencilla y práctica, deberá incluir, número y diámetro de los conductores, tipo de aislamiento, flujos de corriente, número de fases, cuadros eléctricos, interruptores, transformadores, voltajes, subestaciones, gabinetes, etc.”

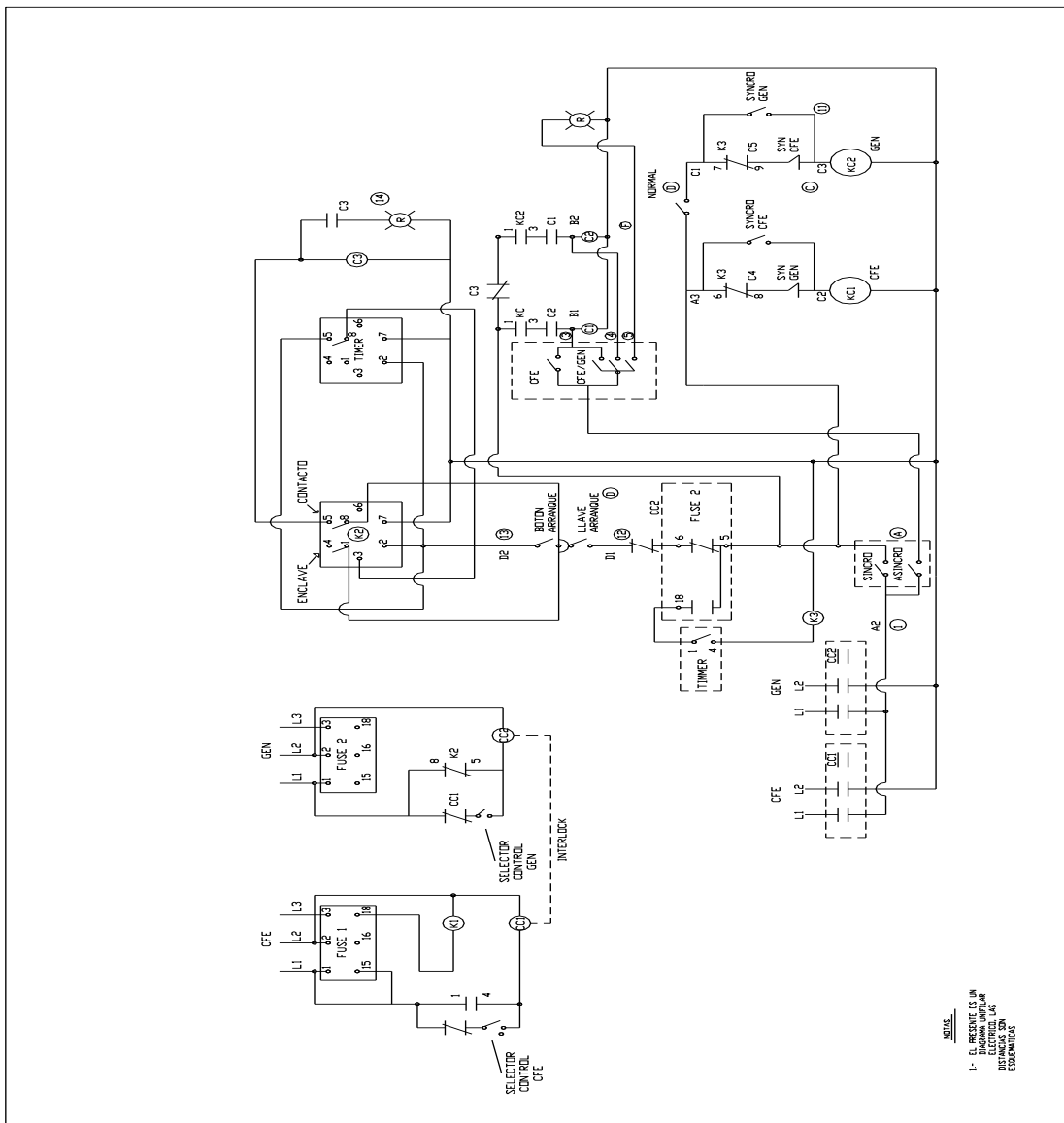
La importancia de contar con un diagrama unifilar es vital, porque nos permite tener en un solo lugar todas las cargas y capacidades del sistema de potencia (eléctrico), sabremos de su localización y donde pueden hacerse nuevas conexiones para aumentar cargas o quitarlas o hacer modificaciones al mismo, se obtiene información concisa de manera significativa. El tamaño del diagrama dependerá de la cantidad de información que se requiera incluir y de los propósitos particulares de quien lo solicite o genere.

De acuerdo a los diagramas enviados por el fabricante de la turbina (ver plano V.2.1), se procedió al cableado y ubicación de los tableros así como de la instalación de los diferentes dispositivos de medición, que junto con la turbina y el generador fueron colocados en la casa de la turbina. La interconexión de los equipos fue acorde a los diagramas, verificando que los equipos se movían de acuerdo a lo especificado y checando que no hubiera fallas en su funcionamiento. Por ejemplo, la unidad hidráulica se verifico primero con una fuente de energía alternativa, ya que la planta no estaba en funcionamiento, y se vieron los diferentes puntos y distancias de su recorrido y parando donde se ubicaba el sensor para su paro a la abertura de los alabes de admisión deseada.



Dibujo V.2.1 Diagrama unifilar de control general.

Para la interconexión eléctrica de la turbina con la línea existente de distribución, se elaboró un control/transfer para que opere de acuerdo a las necesidades que el parque requiera de manera indistinta, esto es: ya sea que tome la energía de la turbina o de la acometida de CFE (existente), esto se hizo porque cuando se requiera hacer o dar mantenimiento a la turbina puedan tener el suministro de CFE. O también, si la electricidad producida por la turbina no es suficiente en horas pico, la faltante sea suministrada por CFE. Ver dibujo V.2.2



Dibujo V.2.2 Diagrama unifilar de transfer.

La turbina operara de manera automática complemente, estableciendo previamente los parámetros sugeridos por el fabricante en el manual de arranque.

5.3.- Modo de Arranque

Para poder arrancar la turbina por primera vez, es requisito indispensable seguir el procedimiento abajo indicado, una vez arrancada esta, su funcionamiento está autorregulado y si hubiera una alteración durante el funcionamiento respecto de los parámetros preestablecidos, esta se parara de manera automática, reiniciando nuevamente en cuanto los parámetros lleguen a estar entre los previamente establecidos.

- 1.- Mantener cerradas los álabes de la turbina.
- 2.- Abrir válvula de control de flujo totalmente (válvula de mariposa).
- 3.- Suministrar corriente alterna en 110 V para operar panel de fuerza y control para a su vez alimentar la unidad hidráulica para mover pistones que mueven los álabes y dan la apertura predeterminada a una altura (determinarla) con sensores, para controlar el flujo de agua.
- 4.- Poner botoneras de panel de fuerza y control en modo automático.
- 5.- Esperar escaneo del sistema del panel de fuerza, una vez prendida la señal de estado correcto, se enciende la turbina con el botón correspondiente, habrá una espera de 30 segundos para que el panel de fuerza alimente el panel de control, una vez transcurrido este tiempo el panel de control envía la señal a la unidad hidráulica para que opere los pistones y abra/n los álabes de la turbina, se permita el paso del agua y empiece a girar la polea que está conectada al generador por medio de tres bandas, una vez que alcance las revoluciones requeridas (1220 rpm) entrara la energía de la turbina a alimentar el sistema.
- 6.- La turbina tiene un rango de operación (ver tabla V.3.1) de: 165 a 550 l/s de agua y generará 7.6 a 25.6 KW respectivamente. Para las condiciones operantes en el momento de la entrega se deja el rango de operación y/o trabajo para 120 l/s con una generación de 7.0 KW. Ver tabla de rangos de generación entregada por el manufacturero.

Altura (m)	Gasto (Q en l/s)	Generación (KW)
5.8	550	25.6
5.8	495	23.1
5.8	330	15.4
5.8	165	7.6

Tabla V.3.1 Diferentes rangos de generación de acuerdo al gasto.

Durante las pruebas de operación, se observó que la turbina genera 7.0 KW con un gasto de 120 l/s, por lo que se estima generará un mayor rango de electricidad con menor flujo, esto debido principalmente a la velocidad que adquiere el agua en su trayectoria de más de 27 m hacia la tobera de la turbina, velocidad que no se tenía en un principio por la cercanía que tenía la casa de máquinas a la cortina de la represa y que se modificó posteriormente.

CAPÍTULO VI

Conclusión

6.- Conclusión.

México a pesar de contar con grandes reservas de combustibles fósiles, está impulsando el desarrollo de fuentes renovables de energía, principalmente en lo referente a hidroeléctricas que al día de hoy representa el 22% de la capacidad instalada (ver Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025 de la Secretaría de Energía referenciado en la bibliografía), esto se debe en gran medida a las políticas mundiales para mitigar el cambio climático global promulgado por el Protocolo de Kioto en el año 2000. Dentro del Programa Nacional de Desarrollo se deriva el Programa Sectorial de Energía que entre sus metas esta la instalación de 1000 MW de energías renovables, en esto se incluye la parte de hidroeléctricas; organismos internacionales como El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), El Banco Mundial (BM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) proveen de recursos económicos para el desarrollo de proyectos sustentables y de energías renovables, para garantizar el abasto oportuno de energéticos de alta calidad y con esto se promueve el desarrollo sustentable del país y la protección del entorno y los recursos naturales.

La energía es parte fundamental de cualquier actividad productiva, su ausencia mengua la posibilidad de un desarrollo sustentable, influye directamente en la calidad de vida de la población; impulsando proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero estaremos en el camino de mejorar las condiciones imperantes en el país actualmente, además que se lograra reducir el impacto al medio ambiente por unidad de consumo de energía (medida en KgCO₂/US\$)

Sin duda alguna que las energías renovables se basan en los flujos y ciclos implícitos en la naturaleza y esto conlleva un riesgo, más ahora que se presentan fenómenos cada día más extremos y peligrosos, la ingeniería tiene mucho que decir y sobretodo desarrollar, son retos que hay que enfrentar y el esfuerzo diario por ser mejores nos llevará a la consecución de ello. La construcción de esta Planta Generadora de Energía es una muestra de lo que sí se puede lograr, sumando esfuerzos y trabajando conjuntamente nos permite contribuir con desarrollos sustentables y hacer nuestro aporte o contribución hacia estas nuevas formas de desarrollo.

Los avances tecnológicos que se tienen actualmente en la manufactura, diseño y fabricación de equipo mecánico como las turbinas Ossberger, nos garantizan la alta eficiencia de su trabajo bajo condiciones estables del mismo, además, que su mantenimiento será escaso durante el período de vida del equipo, con esto tendremos la certeza de siempre estar operando con rangos de eficiencia muy altos, cuidando el medio ambiente de cualquier forma posible de contaminación, obteniendo el trabajo esperado

cumpliendo siempre con la limpieza del ambiente sin alterarlo.

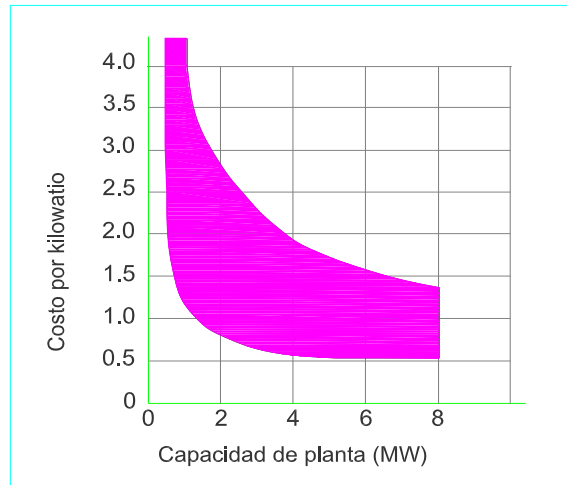
El costo de cada KWh (kilowatt-hora) obtenido mediante un sistema hidroeléctrico, depende del costo de la instalación, la cual debe amortizarse a lo largo de la vida (ver capítulo 2), del costo de explotación, y de la energía producida, que depende en gran medida del caudal de agua con el que se cuenta en la represa y la carga hidráulica neta.

El costo de la instalación general depende fundamentalmente del costo de: maquinaria (turbinas, generadores, etc.), la obra civil (accesos, embalses, canales, tuberías, edificaciones, cortinas, etc.), sistema eléctrico (líneas eléctricas, transformadores, sistemas de control, distribución, regulación y protección), e ingeniería y dirección.

De los costos que dominan de los anteriormente mencionados en el costo de la instalación, sin duda es el generado por la obra civil, el cual varía de manera considerable de un lugar a otro. La obra civil puede llegar a significar de media hasta dos terceras partes del costo total. Pero podría llegar a alcanzar hasta el 80% (si fuera el caso de hacer un proyecto nuevo), o solo el 25%, si la central puede hacer uso de presas, embalses y accesos existentes.

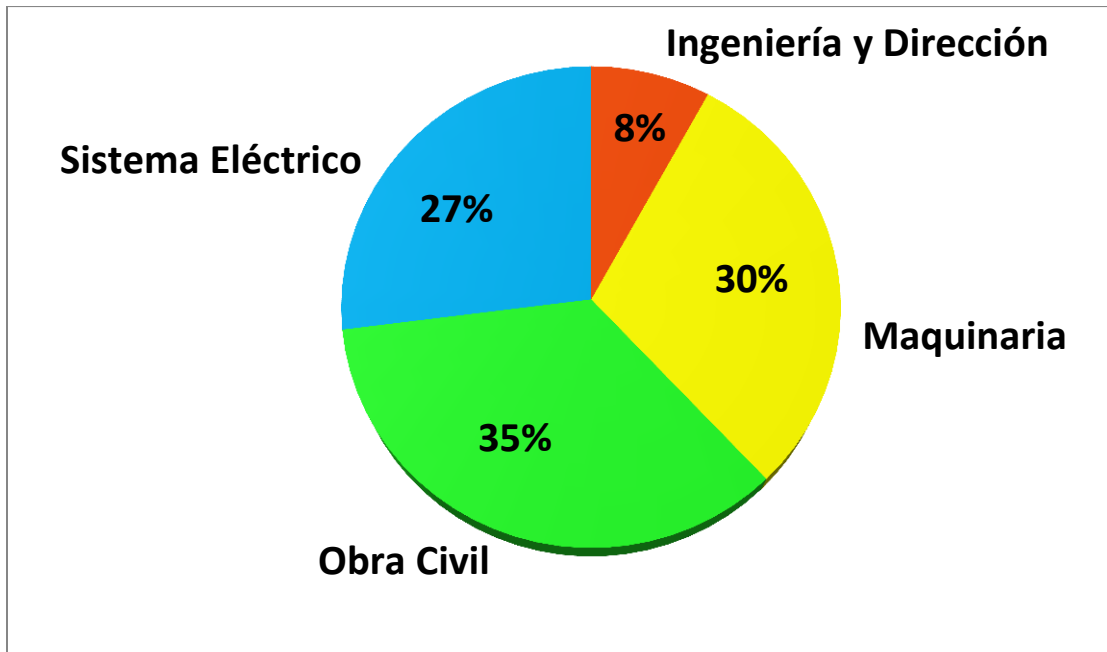
Si consideramos los costos de la maquinaria como una cantidad fija para una capacidad de central dada (requerida), el costo de la instalación puede variar entre la mitad y más del doble que la mitad. Este costo puede establecer la diferencia entre la viabilidad o no del proyecto.

Los costos específicos de la instalación dependen completamente de la capacidad instalada de la central; en la siguiente gráfica VI.1.1 se muestra una estimación de los costos específicos de la instalación basados en lo anteriormente expuesto para el caso de mini centrales de hasta 8 MW de potencia instalada.



Gráfica VI.1.1 Gráfica de capacidad instalada vs costos.

La inversión necesaria para llevar a cabo una instalación de una mini central hidráulica puede estimarse desglosándola en cuatro grandes rubros, cuyos porcentajes medios estimados se muestran en la siguiente gráfica VI.1.2:



Gráfica VI.1.2 Gráfica de los diferentes porcentajes de costos por rama de trabajo.

Los costos de explotación se desglosan en: costos por renta de terrenos, costos por operación y mantenimiento (personal, refacciones y consumibles), costos de gestión y administración y costos de seguros e impuestos. En general estos costos representan una cantidad pequeña comparados con los costos de la inversión de la instalación.

Un factor determinante cuando se pretende calcular el costo por KWh producido, es el denominado factor de capacidad anual de la central, es decir, el porcentaje respecto de la potencia instalada en que opera la central. Ya que puede existir una gran diferencia en cuanto a producción se refiere, entre la generación de la central funcionando constantemente a plena capacidad instalada, y funcionando de manera intermitente, usando solo una fracción de la capacidad instalada. Las centrales hidroeléctricas suelen operar con un factor de capacidad medio bajo, se estima alrededor del 40%, comparado con el de las centrales convencionales que utilizan combustibles fósiles o energía nuclear que están entre el 60%-80%.

En general las centrales adecuadamente instaladas están sin duda produciendo la energía más barata de muchos países. Si tomamos como referencia a Escocia, donde la producción de centrales hidroeléctricas su costo del KWh promedio oscila entre los dos tercios de todas las energías producidas en el Reino Unido. Algo similar ocurre en las centrales hidroeléctricas instaladas en los Estados Unidos; actualmente en México, debido a los diferentes cambios de diferente índole habidos durante los dos últimos sexenios de gobierno, el número es variable, ya que se está sub-explotando el sector hidroeléctrico.

El aporte de la ingeniería al desarrollo técnico del país tiene un potencial enorme, mismo que haciendo uso del ingenio de los mexicanos nos puede llevar a alcanzar dicho desarrollo más rápido de lo que creemos, se requiere sin duda el apoyo de todos los sectores que intervengan en la cadena para cerrar el círculo. Pero si cada uno de nosotros decidimos aportar algo positivo para lograr el crecimiento, estaremos participando de manera proactiva y nos pondremos en la perspectiva de desarrollo demandada por el país.

Y podemos decir a manera de conclusión que: el objetivo planteado al inicio del presente proyecto se alcanzó de manera óptima e incluso rebasada, ya que se obtuvo un beneficio adicional, generando mayor energía con un menor caudal (gasto), aumentando el rango de operación de la turbina para caudales bajos, y nos da la oportunidad de reafirmar que es un proyecto sustentable y amigable con el medio ambiente, libre de contaminantes, y obteniéndose mejores expectativas de resultados de las planteadas originalmente.

ANEXOS

ANEXO 1

Memoria de Cálculo de Planta Generadora de Energía			
MATERIALES			
RESISTENCIAS DE LOS MATERIALES A USAR :			
$f'c =$	250	kg/cm ²	
$Fy =$	4200	kg/cm ²	$W = 2.4$
Constantes de cálculo			
Porcentaje mínima de tensión = $\rho \text{ min} =$			0.003333
Porcentaje de acero máxima = $\rho =$		$0.75 \rho b$	$\beta' = 0.85$
$\rho b =$	$\frac{\beta' * 0.85 * f'c}{Fy}$	$\frac{6000 *}{6000 + Fy}$	$= 0.025298$
$\rho \text{ max} =$	0.018973		$\rho \text{ min} = 0.0035$
Cuantía de acero de refuerzo máxima (W)			
$W \text{ min} =$	0.0588	$W \text{ max} =$	0.31875
$\emptyset Fy d (1 - 0.59 W_{\text{max}}) =$			82866.341
$As =$	$\frac{Mu}{82866.34}$		
$Ec =$	3.718064	$67514.63 =$	251023.7

ANÁLISIS DE CARGA						
<u>CARGA DE LOSA DE BAÑO DE 0.10 m.</u>						
Carga Muerta:	Losa de piso 0.1 x 240	=	240	Kg/m ²		
	Relleno	=	210	Kg/m ²		
	Firme	=	120	Kg/m ²		
	Acabados	=	30	Kg/m ²		
	Plafón	=	20	Kg/m ²		
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²		
Carga Total :		=	660	Kg/m²		
Carga viva:	Wm=	=	170	Kg/m ²		
	Wa=	=	90	Kg/m ²		
	Wt1=	=	830	Kg/m ²		
	Wt2=	=	750	Kg/m ²		
<u>CARGA DE LOSA TAPA AZOTEA DE 0.10 m.</u>						
Carga Muerta:	Losa conc. 0.1 x 2400	=	240	Kg/m ²		
	Impermeabilizante	=	10	Kg/m ²		
	Ladrillo	=	30	Kg/m ²		
	Acabados	=	20	Kg/m ²		
	Plafón	=	10	Kg/m ²		
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²		
Carga Total :		=	350	Kg/m²		
Carga viva:	Wm=	=	100	Kg/m ²	170	
	Wa=	=	70	Kg/m ²	90	
	Wt1=	=	450	Kg/m ²		
	Wt2=	=	420	Kg/m ²		
<u>CARGA DE LOSA DE ENTREPISO DE 0.1 m.</u>						
Carga Muerta:	Losa macisa 0.12 x 24	=	240	Kg/m ²		
Carga por Reglamento:		=	20	Kg/m ²		
	Acabados	=	30	Kg/m ²		
	Plafon	=	10	Kg/m ²		
Carga Total :		=	300	Kg/m²		
Carga viva:	Wm=	=	170	Kg/m ²		
	Wa=	=	90	Kg/m ²		
	Wt1=	=	470	Kg/m ²		
	Wt2=	=	390	Kg/m ²		

Memoria de Cálculo de Planta Generadora de Energía

<u>CARGA DE LOSA DE ESTACIONAMIENTO DE 0.12 m.</u>					
Carga Muerta:	Losa macisa 0.12 x 24	=	288	Kg/m ²	
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²	
	Acabados	=	30	Kg/m ²	
	Plafón	=	10	Kg/m ²	
Carga Total :		=	368	Kg/m²	
Carga viva:	Wm=	=	250	Kg/m ²	
	Wa=	=	100	Kg/m ²	
	Wt1=	=	618	Kg/m ²	
	Wt2=	=	468	Kg/m ²	
<u>CARGA DE LOSA NERVADA.</u>					
Carga Muerta:	Firme	=	120	Kg/m ²	
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²	
	Acabados	=	30	Kg/m ²	
	Plafón	=	10	Kg/m ²	
Carga Total :		=	200	Kg/m²	
Carga viva:	Wm=	=	170	Kg/m ²	
	Wa=	=	90	Kg/m ²	
	Wt1=	=	370	Kg/m ²	
	Wt2=	=	290	Kg/m ²	
<u>CARGA DE LOSA ESCALERA DE 0.10 m.</u>					
Carga Muerta:	Losa de piso 0.10 x 24	=	240	Kg/m ²	
	Peso de escalón	=	190	Kg/m ²	
	Acabados	=	100	Kg/m ²	
	Plafón	=	20	Kg/m ²	
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²	
Carga Total :		=	590	Kg/m²	
Carga viva:	Wm=	=	350	Kg/m ²	
	Wa=	=	150	Kg/m ²	
	Wt1=	=	940	Kg/m ²	
	Wt2=	=	740	Kg/m ²	

Memoria de Cálculo de Planta Generadora de Energía

<u>CARGA DE LOSA VIGUETA BOVEDILLA.</u>					
Carga Muerta:	Firme de piso 0.05 x 20	=	144	Kg/m ²	
	Block	=	75	Kg/m ²	
	Vigueta	=	60	Kg/m ²	
	Acabados	=	30	Kg/m ²	
	Plafón	=	20	Kg/m ²	
Carga por Reglamento:		=	40	Kg/m ²	
Carga Total :		=	369	Kg/m²	
Carga viva:	Wm=	=	170	Kg/m ²	
	Wa=	=	90	Kg/m ²	
	Wt1=	=	539	Kg/m ²	
	Wt2=	=	459	Kg/m ²	
<u>CARGA DE LOSA DE VOLADO DE 0.10 m.</u>					
Carga Muerta:	Losa de piso 0.1 x 240	=	240	Kg/m ²	
	Acabados	=	30	Kg/m ²	
	Plafón	=	20	Kg/m ²	
Carga por Reglamento:		=	20	Kg/m ²	
Carga Total :		=	310	Kg/m²	
Carga viva:	Wm=	=	170	Kg/m ²	
	Wa=	=	90	Kg/m ²	
	Wt1=	=	480	Kg/m ²	
	Wt2=	=	400	Kg/m ²	
<u>CARGA DE MURO DE CONCRETO</u>					
Carga Muerta:	Muro	=	360	Kg/m ²	
	Acabado exterior	=	30	Kg/m ²	
	Acab. Int.	=	16	Kg/m ²	
Carga Total :		=	406	Kg/m²	

Memoria de Cálculo de Planta Generadora de Energía

CARGA DE MURO DE CONCRETO

Carga Muerta:	Muro	=	288 Kg/m ²
	Peso junta const.	=	2 Kg/m ²
	Acabados	=	20 Kg/m ²
	Acab. Int.	=	16 Kg/m ²
Carga Total :		=	326 Kg/m²

CARGA DE MURO DE NOVACERAMICA INTERIOR

Carga Muerta:	Muro	=	135 Kg/m ²
	Peso junta const.	=	3 Kg/m ²
	Acabados	=	40 Kg/m ²
	Acab. Int.	=	16 Kg/m ²
Carga Total :		=	194 Kg/m²

CARGA DE MURO, COLUMNA, DE CONCRETO

Carga Muerta:	Muro	=	360 Kg/m ²
	Col.	=	796.8 Kg/m ²
		=	Kg/m ²
		=	Kg/m ²
Carga Total :		=	1156.8 Kg/m²

CARGA DE PASILLO ESTRUCTURA.

Carga Muerta:	Rejilla	=	75 Kg/m ²
	Estructura	=	60 Kg/m ²
	Plafón	=	20 Kg/m ²
Carga por Reglamento:		=	20 Kg/m ²
	Barandal	=	20 Kg/m ²
Carga Total :		=	195 Kg/m²

Carga viva:	Wm=	=	170 Kg/m ²
	Wa=	=	90 Kg/m ²
	Wt1=	=	365 Kg/m ²
	Wt2=	=	285 Kg/m ²

ZONIFICACIÓN POR VIENTO

<u>CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA</u>	GRUPO B
<u>CLASIFICACIÓN POR SU RESPUESTA AL VIENTO</u>	TIPO 1
<u>ZONA EÓLICA</u>	ZONA 5
<u>VELOCIDAD REGIONAL</u>	90 Km/h
<u>VELOCIDAD BÁSICA</u>	90
<u>VELOCIDAD DE DISEÑO</u>	117

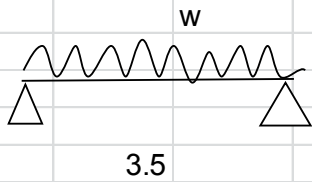
ZONIFICACIÓN SISMICA

<u>ZONIFICACIÓN:</u>	ZONA III d		
<u>COEFICIENTE SÍSMICO (C) :</u>	0.3		
<u>TIPO DE ESTRUCTURA GRUPO:</u>	B		
<u>FACTOR DE COMP. SÍSMICO:</u>	Q = 2		
	FS = 0.15		
C= 0.3	ao= 0.1	Ta ¹ = 0.85	Tb ¹ = 4.2
r= 2			

REFERENCIAS

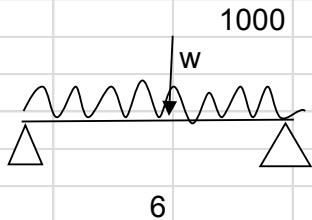
- 1.- " Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal " de Enero del 2005
- 2.- " Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo " de Enero de 2005
- 3.- " Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento " de Enero de 2005
- 4.- "Manual de construcción en acero.
- 5.- "Manual del A. C. I.
- 6.- "Manual of Steel Construction

LOSA L-1



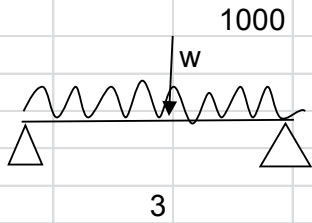
W =	450	kg/m.		
M =	689.06	kg-m.	459.4	kg-m.
V =	787.5	kg.		
DIM. PROP. T.C.	100	10	8	
P.T.C.=	0.0042	0.9178	0.8424	
	0.0033			
AS. T. C	3.3268	cm2. == # 3 @ 200		
	2.64	cm2. == # 3 @ 200		

VIGA V-1



W =	2976	kg/m.		
M =	13392	kg-m.	8928.0	kg-m.
V =	8928	kg.		
DIM. PROP. T.C.	25	60	58	
P.T.C.=	0.0063	0.8757	0.7669	
	0.0033			
AS. T. C	9.12	cm2. == 2 # 6 + 2 # 5		
	4.79	cm2. == 2 # 6		

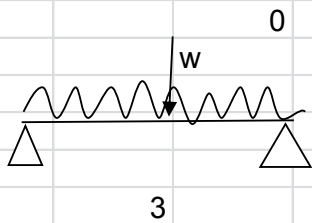
VIGA V-2



W =	1998	kg/m.		
M =	2247.8	kg-m.	1498.5	kg-m.
V =	2997	kg.		
DIM. PROP. T.C.		15	30	28
P.T.C.=	0.0077	0.8486	0.7202	
	0.0033			
AS. T. C	3.22	cm2. ==	2 # 4 + 1 # 4	
	1.39	cm2. ==	2 # 4	

250

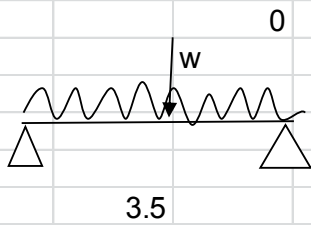
VIGA V-3



W =	1248	kg/m.		
M =	1404	kg-m.	936.0	kg-m.
V =	1872	kg.		
DIM. PROP. T.C.		15	30	28
P.T.C.=	0.0046	0.9084	0.8252	
	0.0033			
AS. T. C	1.95	cm2. ==	2 # 3 + 1 # 3	
	1.39	cm2. ==	2 # 3	

250

VIGA V-4



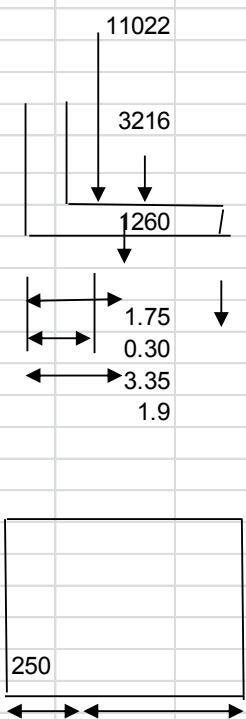
W =	1085.1	kg/m.		
M =	1661.6	kg-m.	1107.8	kg-m.
V =	1899	kg.		
DIM. PROP. T.C.		15	30	28
250	P.T.C.=	0.0055	0.8906	0.7931
		0.0033		
	AS. T. C	2.33	cm2. ==	2 # 3 + 1 # 4
		1.39	cm2. ==	2 # 3

DISEÑO CIMENTACIÓN

	CM	CV	
W=	10243.25	778.4	11022 kg.
M=	0.50 ton.-m		

Memoria de Cálculo de Planta Generadora de Energía

Cimentación Propuesta						
	3.5 x	1	h = 0.15	0.45	3.35	
		1				
		w =	1260 kg	w ↓ =	1206	
	Prof =	0.6				
	e =	0.3	Xe =	0.00		
	Me =	0				
		Mt =	750 kg. - m.	1		
		E =	$\frac{13488}{3.5}$	+	1285.714	= 5139.329
		Es =	3853.6143	-	1285.714	= 2567.9
		Esp =	$\frac{3853.6143}{3.5}$	kg. - m.	m =	1926.807
	DIM. PROP	100	0	20	15	5
	P =	0.0033	0.935214	0.874625		
	AS =	4.91682	cm ² .	==	# 3 a cada 15	
		4.95	cm ²		# 3 a cada 15	



ANEXO 2



Foto A2-01 Vista de cortina y area de trabajo.



Foto A2-02 Inicio de los trabajos de desmonte y limpieza.



Foto A2-03 Vista de columna soporte de tubería y cortina.



Foto A2-04 Vista de protección de toma y compuerta de desfogue.



Foto A2-05 Vista de canal de desfogue y fosa de descarga.



Foto A2-06 Vista de losa tapa de canal de desfogue, piso y desplante de columnas.



Foto A2-07 Vigas de madera de techo.



Foto A2-08 Vista de techo interior terminado.



Foto A2-09 Vista de cono de entrada (toma) desde hueco en cortina.



Foto A2-10 Vista de tubería de alimentación, vanos y cortina.



Foto A2-11 Vista de montaje de turbina, alimentación y válvula.



Foto A2-12 Vista de turbina, válvula y acabado de piso.



Foto A2-13 Vista general de arreglo de cuarto de máquinas operando.



Foto A2-14 Vista exterior de cuarto de máquinas.



Foto A2-15 Vista de turbina y tableros antes de inauguración.



Foto A2-16 Estudiantes en explicación de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- <http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf> “Breve Historia de las Turbinas Hidráulicas” Roberto Córdoba.
- 2.- <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/fisica-y-tecnologia-energetica/recursos/05-Hidraul...>
Energía Hidráulica Física y Tecnología Energética.
- 3.- <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo17.pdf>
Energía Hidráulica.
- 4.- Secretaría de Energía. “Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México”.
www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009
- 5.- Secretaría de Energía:
“Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México”.
“Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables”.
“Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025”.
“Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (Utilización)”.
http://www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf
http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller_ener_ren_03.pdf
- 6.- “La Generación y Transmisión de Energía Eléctrica en México (Cap. V)”.
Jacinto Viqueira Landa.
- 7.- [www. Ossberger.de](http://www.Ossberger.de) “Ossberger GmbH + Co.
- 8.- “Introducción a Subestaciones Eléctricas”.
M. en C. Baldomero Guevara Cortés
- 9.- <http://libros.redsauce.net.pdf> “Turbinas Kaplan y Bulbo”
- 10.- “Hidráulica General” Vol. I; Gilberto Sotelo Dávila, editorial “Limusa”