

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPARATIVO DE LA PROGRAMACIÓN DE CASA DE MAQUINAS EN
CAVERNA CON LA EJECUCIÓN REAL – OBRAS CIVILES HASTA NIVEL DE
TURBINAS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

LUZ ELENA TARAZONA FARFÁN

Lima – Perú

2014

ÍNDICE

RESUMEN	III
LISTA DE CUADROS	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: CONCEPTOS GENERALES – TERMINOLOGÍA	3
1.1 DEFINICIONES IMPORTANTES	3
1.1.1 Definición de central hidroeléctrica	3
1.1.2 Casa de máquinas	4
1.1.3 Turbinas hidráulicas:	7
1.1.4 Generador	11
1.1.5 Transformador	12
1.2 PROCESO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA	13
1.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL PERÚ	13
1.4 GESTIÓN DEL TIEMPO EN PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16
CAPÍTULO II: CONCEPCIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS EN CAVERNA	20
2.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LIPLE	20
2.2 COMPLEJO CASA DE MÁQUINAS	22
2.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL	27
2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO SIMPLIFICADO DE OBRAS CIVILES	28
CAPÍTULO III: MODIFICACIONES EN LA PROGRAMACIÓN	29
3.1 CONTRATO FIDIC	29
3.2 HISTORIAL DE PROGRAMAS - PROGRAMACIÓN DEFINITIVA	31
3.3 EVENTOS QUE POSTERGARON EL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS	32
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN Y LA EJECUCIÓN REAL	35
4.1 ANÁLISIS DEL SEGUNDO HITO	37
4.1.1 Condiciones del segundo hito	37
4.1.2 Repercusión del puente grúa en el segundo hito	38
4.1.3 Actividades programadas	40

4.1.4	Ejecución real de las actividades programadas	42
4.1.5	Análisis comparativo de las actividades programadas y ejecución real – segundo hito	47
4.2	ANÁLISIS DEL TERCER HITO - HASTA EL NIVEL DE TURBINAS	50
4.2.1	Condiciones del tercer hito	50
4.2.2	Circunstancias del contratista electromecánico	53
4.2.3	Actividades programadas	53
4.2.4	Ejecución real de las actividades programadas	56
4.2.5	Análisis comparativo de las actividades programadas y ejecución real – tercer hito	59
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1	CONCLUSIONES	62
5.2	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXOS	66

RESUMEN

La casa de máquinas en caverna de la central hidroeléctrica Liple, la cual tiene una capacidad de 168MW, se ubica en una formación rocosa en la margen izquierda del río Huaura en el departamento de Lima. El complejo de la casa de máquinas consiste en una caverna principal con 2 turbinas Pelton y una caverna de transformadores dispuesta en paralelo con la caverna principal que contiene 2 transformadores principales, el acceso al complejo de la casa de máquinas es mediante 960m de túnel. La secuencia de construcción de esta estructura se basa en una programación, el cumplimiento de ésta es muy importante para las ganancias de la empresa ya que los atrasos traen sobre costos. Este informe tiene como finalidad mostrar las diferencias que hay entre una programación y la ejecución real respecto al cumplimiento de plazos, para ello se ha dividido el informe en cinco capítulos que se resumen a continuación:

El primer capítulo consiste en definiciones y funciones de las componentes de una casa de máquinas como parte de una central hidroeléctrica que ayudarán a un mejor entendimiento de este informe.

El segundo capítulo consiste en un resumen de cómo fue proyectada la casa de máquinas en caverna Liple en la distribución de espacios y en el diseño estructural.

El tercer capítulo da a conocer los cambios que se han presentado en la programación de la central hidroeléctrica Liple bajo las cláusulas del contrato FIDIC (ver el Capítulo III) y los motivos que originaron cambios en la fecha de inicio de la construcción en la programación de la casa de máquinas en caverna.

El cuarto capítulo muestra el análisis de las actividades que estaban programadas y las que no lo estaban, señala como repercutieron éstas en los plazos dados en la programación.

El quinto capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones luego del análisis.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1.- Plan de obras de Centrales Hidroeléctricas.....	15
Cuadro N° 1.2.- Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto	17
Cuadro N° 2.1.- Ubicación y características de la C.H. Liple.....	22
Cuadro N° 4.1.- Cuadro comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Segundo hito.....	48
Cuadro N° 4.2.- Cuadro comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Tercer hito.....	60

LISTA DE FOTOS

Foto 1.1 .- Casa de máquinas en superficie. C.H. Virú – Chavimochic	5
Foto 1.2 - Casa de máquinas en caverna. C.H. Liple.....	6

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1.- Esquema de una central hidroeléctrica	4
Figura N° 1.2.- Turbina de acción Pelton	8
Figura N° 1.5.- Turbina de reacción Francis.....	9
Figura N° 1.6.- Rotor y estator	12
Figura N° 1.7.- Transformador	12
Figura N° 1.8.- Proceso de la generación de energía	13
Figura N° 1.9.- Producción de energía por fuente de energía	14
Figura N° 1.10.- Comparación de potencia instalada entre hidráulica y térmica. 14	
Figura N° 2.1.- Ubicación de la Central Hidroeléctrica Liple.....	20
Figura N° 2.2.- Plano en planta – Casa de máquinas C.H. Liple	25
Figura N° 2.3.- Plano en corte casa de máquinas C.H. Liple.....	26
Figura N° 4.1.- Hitos	36
Figura N° 4.2.- Alcance del informe – hasta nivel de turbinas	37
Figura N° 4.3.- Cortes de vaciados de concreto programados – Planta nivel 0..	41
Figura N° 4.4.- Zonas de trabajo – Planta nivel 0.....	42
Figura N° 4.5.- Sectorización de etapas de construcción por falta de puente grúa – Planta nivel 0	43
Figura N° 4.6.- Niveles del segundo hito.....	44

Figura N° 4.7.- Zonas de avance permitidas en planta - Nivel 5.50.....	50
Figura N° 4.8.- Zonas de avance permitidas en corte	52
Figura N° 4.9.- Cortes de vaciado de concreto – planta hasta nivel final de turbinas, nivel 9.0.....	55
Figura N° 4.10.- Capas de vaciados – corte hasta nivel de turbinas, nivel 9.0 ...	55

INTRODUCCIÓN

Presento a consideración de los miembros del jurado el informe de suficiencia “Comparativo de la programación de casa de máquinas en caverna con la ejecución real – obras civiles hasta nivel de turbinas” para optar el grado de Ingeniero Civil que otorga la Universidad Nacional de Ingeniería a nombre de la Nación.

El primer capítulo consiste en definiciones y funciones de las componentes de una casa de máquinas como parte de una central hidroeléctrica que ayudarán a un mejor entendimiento de este informe.

El segundo capítulo consiste en un resumen de cómo fue proyectada la casa de máquinas en caverna Liple en la distribución de espacios, en el diseño estructural y la prevención de inundaciones de la casa de máquinas por el portal de acceso.

El tercer capítulo da a conocer los cambios que se han presentado en la programación de la central hidroeléctrica Liple bajo las cláusulas del contrato FIDIC (ver el Capítulo III) y los motivos que originaron cambios en la fecha de inicio de la construcción en la programación de la casa de máquinas en caverna.

El cuarto capítulo muestra el análisis de las actividades que estaban programadas y las que no lo estaban, señala como repercutieron éstas en los plazos dados en la programación.

El quinto capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones luego del análisis.

A continuación se hace una introducción a los motivos que llevaron a realizar este informe.

La creciente demanda de energía en estos últimos años ha dado lugar a un aumento en la construcción de centrales hidroeléctricas y por consiguiente la construcción de casas de máquinas, parte de ellas en caverna, para que estas construcciones se desarrollen de manera que se cumplan con los alcances del proyecto es necesario hacer una buena planificación, para conseguirlo no solo se debe tener habilidades en el uso de software sino también se debe tener

experiencias análogas que puedan servir como parámetros guía para analizar duraciones de las fases del proyecto.

En este tipo de construcciones no se consideran ciertas actividades que podrían asemejar más a la ejecución real y afinar una programación, ya que por ser construcciones atípicas no se cuenta con la experiencia que podría evitar estas omisiones, sin embargo si se dejase documentado experiencias similares pasadas sería de mucha ayuda en la elaboración de la programación. Por ello el objetivo del presente informe es analizar la programación y la ejecución real de la casa de máquinas en caverna de la Central Hidroeléctrica Liple, para brindar pautas y recomendaciones que sirvan de instrumento guía a los futuros programadores para reducir la disimilitud entre la programación y la ejecución real.

La construcción de una casa de máquinas en caverna y cualquier construcción, puede terminar antes, justo a tiempo o después de la fecha indicada en la programación, lo esperado es que se culmine antes o en la fecha que indica el programa, sin embargo sería muy valioso tener la información: bajo qué condiciones de trabajo se alcanzó las metas y con mayor razón cuando el término se haya dado después de la fecha fin.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS GENERALES – TERMINOLOGÍA

1.1 DEFINICIONES IMPORTANTES

1.1.1 Definición de central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es una instalación cuya función es convertir la energía potencial y cinética del agua en energía eléctrica disponible. Esta definición implica que la central hidroeléctrica (CH) estará formada por todos aquellos elementos que intervienen en esta transformación, elementos de diverso tipo:

- Elementos de retención y almacenaje de agua, tales como embalses, presas o azudes.
- Elementos de conducción de agua, tales como obras de toma, canales, cámaras de carga, tuberías, sifones, etc.
- Elementos de apertura y cierre del paso de agua, compuertas, válvulas o ataguías.
- Equipamiento hidráulico: turbinas, multiplicador, rejas y limpia rejas.
- Equipamiento eléctrico: generador, transformador, línea eléctrica.
- Equipamiento de control y protección: interruptores, seccionadores, auto válvulas, red de tierra, etc.
- Equipamiento auxiliar: baterías de corriente continua, iluminación, tomas de fuerza, etc.
- La casa de máquinas

Todos los elementos que intervienen, desde la captación del agua hasta su devolución al cauce, todo el equipamiento que interviene en la transformación energética hasta la entrega de la energía eléctrica donde la compañía disponga, forma parte de la central.

Por lo tanto en una central hidroeléctrica se considera dos grandes bloques:

- Obra civil: entre las más importantes tenemos la bocatoma, desarenador, canal, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, canal de descarga y túneles.
- Equipamiento electromecánico: válvula de ingreso, turbina, generador, sistema de transmisión, regulador y tablero de control.

La Figura N° 1.1 muestra de forma esquemática una central que aplica la energía hidráulica para generar electricidad.

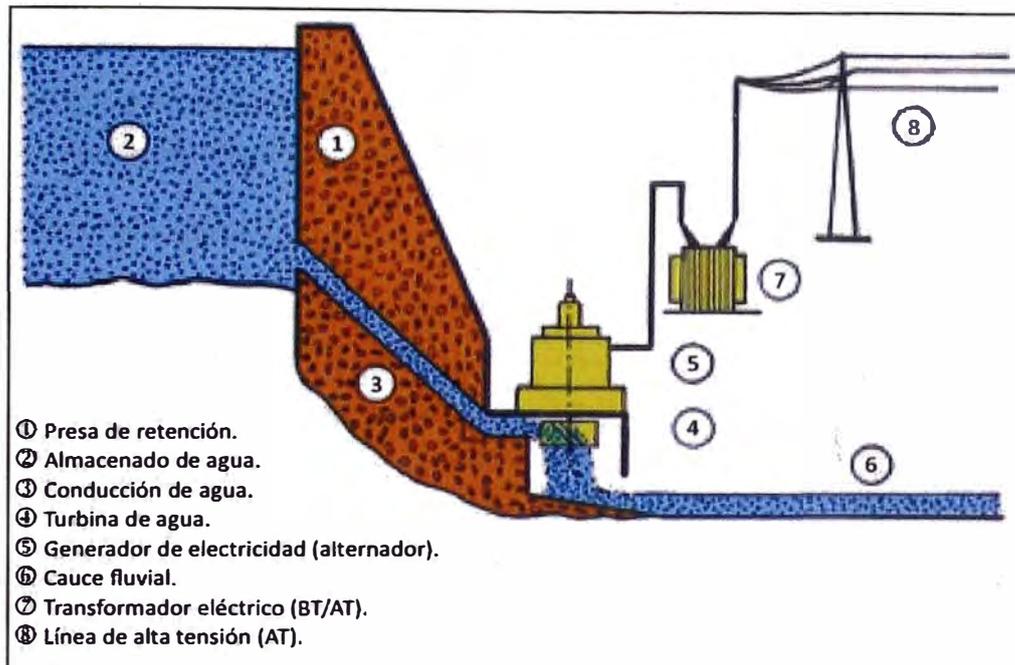


Figura N° 1.1.- Esquema de una central hidroeléctrica

Fuente: Roldan. (2012).

1.1.2 Casa de máquinas

El edificio de la central o casa de máquinas es el edificio en el que se instalan los principales elementos del equipamiento electromecánico de la central, tales como la turbina, el generador, los sistemas de regulación y control, la sala de mando y otros. Fuera del edificio suele quedar únicamente el parque de transformación. De esta manera, todos los elementos quedan protegidos frente a las inclemencias meteorológicas y fuera del alcance de intrusos.

La ubicación de la casa de máquinas depende de múltiples factores:

- Búsqueda del máximo salto de aprovechamiento
- Geología – el terreno debe ser estable para evitar movimientos de tierra que puedan poner en peligro la estructura del edificio.
- Accesibilidad – asegurar el acceso al edificio, debe ser posible llevar maquinaria pesada, si el acceso es complicado puede encarecer la obra.

Clasificación:

Pueden realizarse clasificaciones atendiendo a tantos parámetros como se desee. En este caso se hará una única clasificación según sea:

- Casa de máquina en superficie
- Casa de máquina en caverna

Casa de máquinas en superficie

Son los más habituales, su principal ventaja es que el costo es inferior, generan un impacto mayor tanto desde el punto visual como de ruidos. Esencialmente están formados por una nave generalmente de concreto armado o de mampostería, piedra y ladrillo. En las centrales de pie de presa se ubican en la misma presa, si no puede hacerse así conviene situar el edificio de forma que se minimice la longitud del canal de desagüe. En casos de grandes saltos conviene colocar el edificio de forma que una rotura de la tubería no inunde el equipamiento. La Foto 1.1 muestra el emplazamiento de una casa de máquinas en superficie.



Foto 1.1.- Casa de máquinas en superficie. C.H. Virú – Chavimochic

Fuente: Autor

Casa de máquinas en caverna

La casa de máquinas se excava en el interior de la montaña o se sitúa bajo el lecho del río, quedando oculta a la vista. Generalmente, la subestación transformadora queda ubicada en el exterior. Su gran ventaja reside en el menor impacto tanto paisajístico como de ruidos y vibraciones. Además, al estar

excavadas en roca, también las tuberías lo están por lo que pueden ser de menor espesor al transmitir los esfuerzos a las paredes. El inconveniente es que no siempre pueden realizarse, puesto que el espacio ocupado por los grupos de generación es bastante grande. Además debe ser posible acceder durante el montaje y puesta en marcha, por lo que deben realizar vías de acceso. Así mismo, están expuestas a posibles filtraciones.

La Foto 1.2 muestra el emplazamiento de una casa de máquinas en caverna.

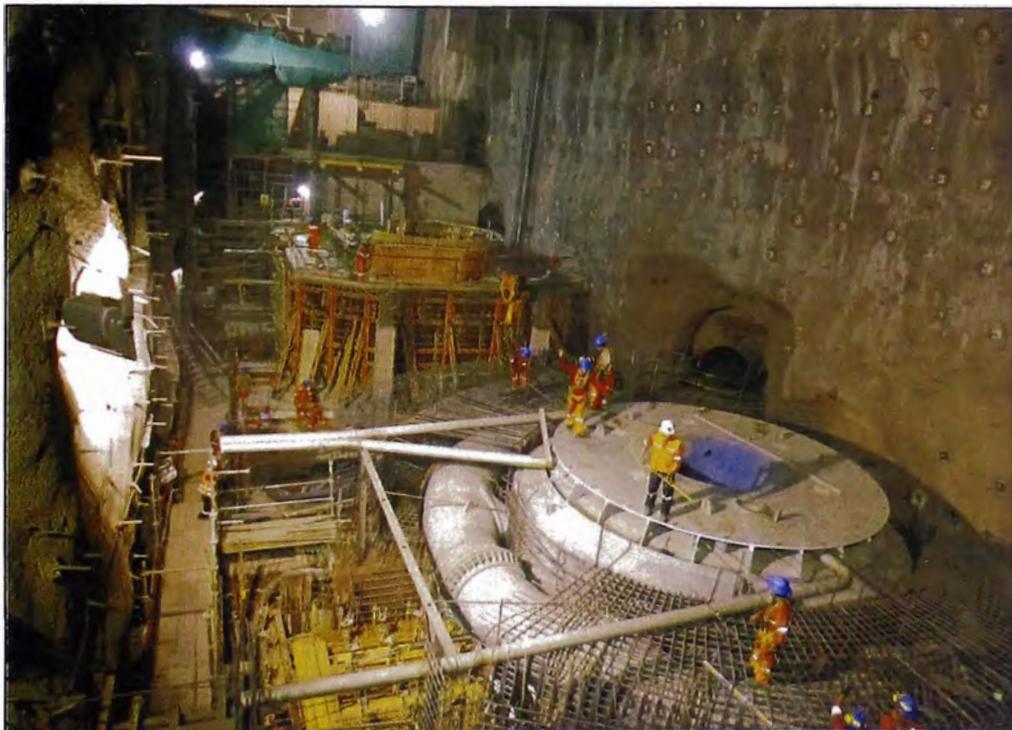


Foto 1.2.- Casa de máquinas en caverna. C.H. Liple

Fuente: Autor

Partes de la casa de máquinas en caverna de la C. H. Liple

Según el diseño de la casa de máquinas en caverna de la C. H. Liple, se nombran las partes desde el nivel inferior hasta el nivel superior (Ver Figura N° 2.3):

- Primer nivel: celda de las turbinas, zona de bombas y compuertas de descarga.
- Segundo nivel: Celda de turbinas donde se alojan los distribuidores e inyectores, sala intercambiadora de calor, sala de ventilación, zona de escaleras, pasaje para tuberías y entradas de aire.

- Tercer nivel: sala de sistema de enfriamiento, almacén, pasajes para tuberías, sala de máquinas de las turbinas, taller, zona de ascensor y sala de estación de transformadores.
- Cuarto nivel: sala de control eléctrico, sala de bornes de los generadores, generadores, pasajes para tuberías, generador túnel de barras, sala de baterías, unidad de agua potable, almacén y zona de ascensor.
- Quinto nivel: sala de máquinas, sala de control, sala de rescate, pasajes para tuberías y zona de ascensor.
- Sexto nivel: salón de estar, sala de duchas, sala de utensilios de limpieza, vestuario y pasajes para tuberías.

1.1.3 Turbinas hidráulicas:

Se puede definir una turbina hidráulica como una máquina que transforma la energía hidráulica aportada por el agua en energía mecánica. En una turbina, el fluido al atravesar la máquina cede en el rotor – órgano principal y además el único móvil – parte de su energía, que será aprovechada en el eje solidario al mismo obteniéndose así una energía mecánica. Esta energía es transformada posteriormente en energía eléctrica mediante un alternador. Además del rotor, una turbina consta de otros elementos situados aguas arriba y abajo del mismo. El agua es conducida hasta la turbina a través de la denominada tubería forzada. La ventaja de la energía mecánica que proporciona el agua está en que la misma masa de agua puede ser reutilizada varias veces a lo largo del curso del río.

Los componentes principales de la turbina son:

Carcaza: estructura de soporte principal de la turbina.

Rodete: es el elemento intercambiador de la energía.

Eje: elemento sobre el cual está montado el rodete.

Cojinetes de rodamiento: es el elemento de apoyo del eje que permite la libre rotación del rodete.

Volante: mantiene el momento inercial del conjunto turbina-alternador.

Mecanismo de regulación del caudal: elemento que permite regular el caudal de agua hacia el rodete para mantener una velocidad constante del grupo para cualquier variación de carga.

Clasificación:

Las turbinas pueden clasificarse de formas muy diversas atendiendo a las características y a su manera de funcionamiento. La clasificación más importante es la que, en atención a su funcionamiento, las dividen en turbinas de acción y en turbinas de reacción:

Turbinas de acción:

Son aquellas en las que el agua sale del distribuidor (componente anterior al rodete) a la presión ambiente y llega al rodete a esa misma presión. En estas turbinas toda la energía del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética, la turbina más representativa de este tipo es la turbina Pelton, aunque también se puede mencionar las turbinas Michel - Banki y Turgo, muchísimo menos utilizadas. La Figura N° 1.2 muestra un esquema del funcionamiento de una pequeña turbina Pelton con eje horizontal y sólo una boquilla.

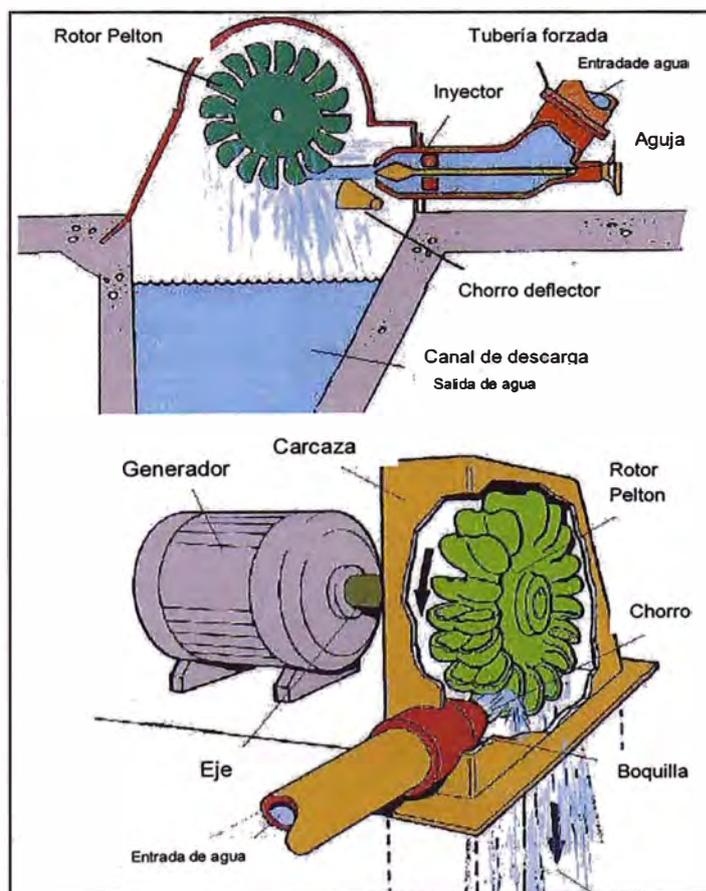


Figura N° 1.2.- Turbina de acción Pelton

Fuente: Mello Jr. (2000).

Turbinas de reacción:

Son aquellas en las que el agua sale del distribuidor con cierta presión manométrica positiva, que va perdiendo a su paso por el rodete, a la salida del cual la presión manométrica es nula o incluso negativa. Por tanto, en el rodete se intercambia tanto energía cinética como energía de presión. En este grupo las más frecuentes son las turbinas Francis, Helice, Kaplan, Bulbo, Dériaz y Straflo.

En este tipo de turbinas el fluido cede energía a la máquina tanto en forma de energía cinética como en forma de energía de presión. El fluido llega al rodete por toda la periferia del mismo, por lo que se dice que estas turbinas son de admisión total.

La Figura N° 1.3 muestra un esquema con las partes de una turbina de reacción Francis.

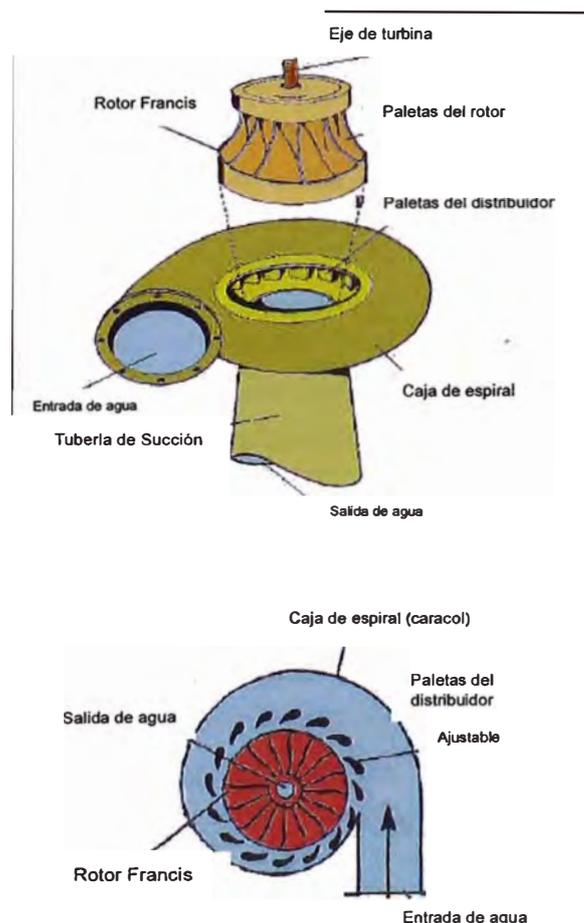


Figura N° 1.3.- Turbina de reacción Francis

Fuente: Mello Jr. (2000).

De todas estas turbinas, las más importantes son las Pelton, las Francis y las Kaplan.

Utilización de las turbinas hidráulicas

Las turbinas de acción se emplean en situaciones de grandes saltos y caudales pequeños, es decir velocidades bajas, por ello se instalan en las cabeceras de los cauces, en zonas próximas a los nacimientos de los ríos donde las fuertes pendientes permiten obtener grandes desniveles entre puntos relativamente próximos, mientras que el caudal es pequeño. Este tipo de centrales son normalmente de agua acumulada y suelen disponer de un canal de derivación de bastante longitud para generar el salto neto necesario.

Las turbinas de reacción se utilizan para un amplio rango de alturas y caudales, con una relación caudal-altura mayor que en el caso de las turbinas de acción. Las centrales de reacción se sitúan en la zona media o final de los cauces de los ríos y disponen de canales de derivación más corto que las de acción o incluso pueden carecer de ellos. Pueden ser de agua acumulada o de agua fluyente en los casos en que es económicamente inviable regular el río.

Turbina Pelton

Es el equipo de turbina más popular, siendo su componente principal la rueda o rodete Pelton. Su aplicación está dada para grandes saltos o caídas y caudales pequeños aunque es posible su aplicación con caudales medianos cuando se fabrican con más de 1 chorro.

Es una turbina de acción que transforma la energía cinética del agua en energía mecánica. El agua proveniente de la tubería de presión se hace ingresar a un inyector o tobera, transformando la presión del agua de la tubería en energía cinética. El agua sale del inyector en forma de chorro a alta velocidad golpeando las cucharas o cangilones de la rueda Pelton haciéndola girar, de esta forma transmite toda la energía cinética (o casi toda) en energía mecánica rotatoria.

El agua después de golpear las cucharas, pasa al depósito de descarga por debajo de la rueda para terminar en el canal de descarga.

Cuando un sistema cuenta con suficiente volumen de agua, es decir que no se hace necesario controlar el caudal y por tanto la turbina Pelton estaría

funcionando continuamente y a plena carga, se puede utilizar un inyector sencillo, prácticamente una tobera.

Sin embargo en muchos sistemas no siempre se cuenta con suficiente volumen de agua o no queremos que trabaje a plena carga en una máquina en particular, por tanto debemos encontrar un modo conveniente de conseguir el mejor chorro que podamos y aquí es donde entra en juego el inyector y la aguja.

1.1.4 Generador

Es la máquina que transforma la energía mecánica en eléctrica. Se le llama también alternador porque produce corriente alterna. Está formado básicamente por dos elementos: uno fijo cuyo nombre genérico es el de Estator y otro que gira concéntricamente en éste llamado Rotor.

Uno de ellos debe crear un campo magnético, alimentado con corriente directa (corriente de excitación del campo), tomada de la excitatriz. A dicho elemento se le denomina inductor y está formado por un conjunto de bobinas, el inductor es el rotor.

El segundo elemento actúa como receptor de corrientes inducidas, por lo que se llama inducido. A él están unidas las barras de salida de la corriente. El estator es el que ocupa el lugar del inducido.

La corriente eléctrica se origina en el campo magnético establecido entre el rotor y el estator, al girar el rotor impulsado por la turbina se rompe el campo magnético produciéndose una corriente de electrones. Esta corriente se induce a relativamente bajo voltaje, por lo que se envía al transformador de potencia, el cual sube el voltaje a un valor muy alto para que se efectúe la transmisión hasta los centros de consumo. En estos hay subestaciones reductoras cuyos transformadores reducen el voltaje para distribuir la corriente en la zona. Finalmente, cerca de las instalaciones del usuario ocurre una última reducción del voltaje para ajustarlo a las características del funcionamiento de los aparatos. El fenómeno físico mediante el cual se obtiene la energía eléctrica se denomina inducción electromagnética. La Figura N° 1.4 muestra la imagen de un rotor y la de un estator.

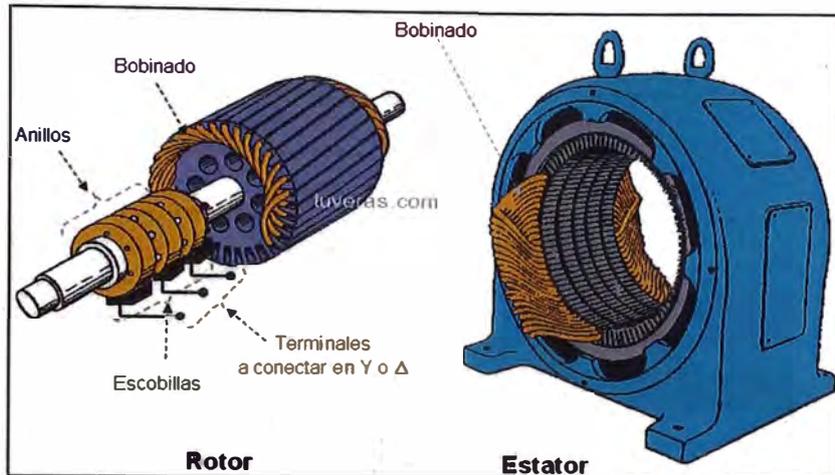


Figura N° 1.4.- Rotor y estator

Fuente: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-un-generador-electrico/>.

1.1.5 Transformador

Un transformador es una máquina eléctrica estática que transforma la energía eléctrica recibida en otra energía eléctrica de características distintas, ya sea de tensión, intensidad, etc. El transformador es uno de los equipos eléctricos más útiles de los utilizados en la electricidad, puede aumentar o disminuir la tensión, puede aislar un circuito del otro, permite transmitir energía eléctrica a grandes distancias y distribuirla en forma segura a hogares y fábricas. La Figura N° 1.5 muestra a la izquierda el esquema de un transformador y a la derecha el aspecto exterior de una transformador.

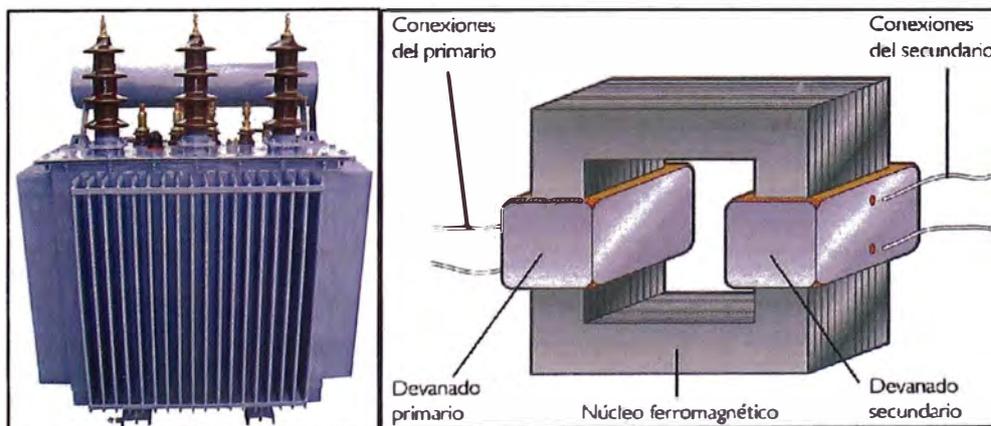


Figura N° 1.5.- Transformador

Fuente: <http://emet5aleromero.blogspot.com/2010/06/transformadores-electricos.html>.

1.2 PROCESO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

En el siguiente esquema, puede observarse el proceso que tiene la energía desde su generación hasta que es entregada en los hogares.



Figura N° 1.6.- Proceso de la generación de energía

Fuente: http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/VAD/VAD2005/VAD_Introduccion.htm

1.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL PERÚ

La producción de energía eléctrica, que usa la energía potencial del agua como fuente de energía, se ha mantenido en el tiempo con gran porcentaje respecto a la producción de energía eléctrica que usa otras fuentes de energía y combustibles tales como gas natural, carbón, diesel residual y renovable tal cual se aprecia en la Figura N° 1.7 y la Figura N° 1.8. De los cuadros se puede notar que la construcción operación y mantenimiento de las centrales hidroeléctricas desde hace muchos años tiene gran demanda y se mantendrá así en los años venideros según el Cuadro N° 1.1, de ahí la importancia de estudiarlas para la correcta ejecución desde la etapa de perfil hasta la etapa de mantenimiento. La Figura N° 1.7 muestra un comparativo de la producción de energía diferenciándolas por el tipo de fuente de energía y combustible que usan, la comparación se hace para el mes de noviembre del año 2011 y 2012. Mientras

la Figura N° 1.8 muestra un comparativo de la potencia instalada entre la hidráulica y la térmica desde el año 1995 hasta el 2008.

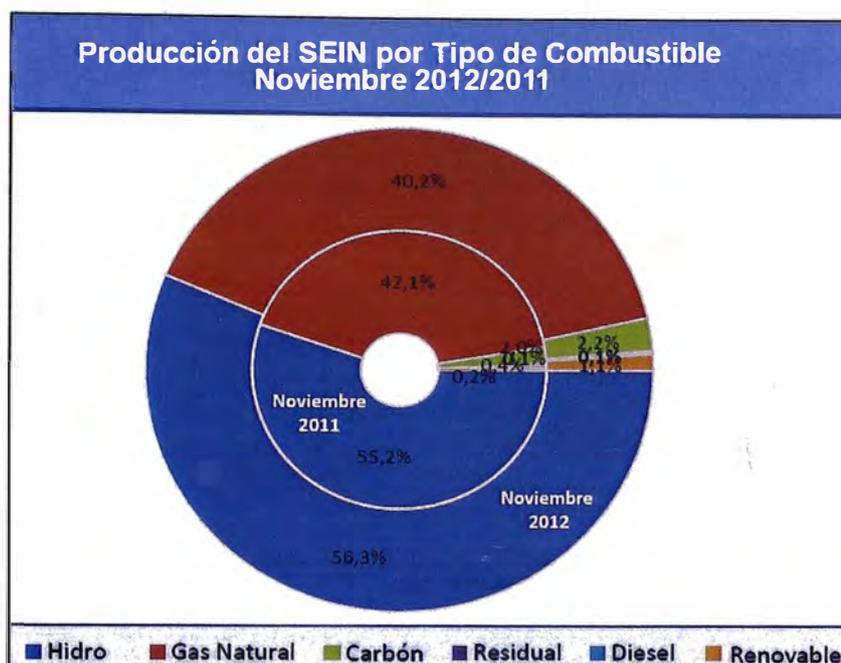


Figura N° 1.7.- Producción de energía por fuente de energía

Fuente: <http://www2.osinerg.gob.pe/Publicaciones/pdf/OperSecElectrico/OSEENE2013.pdf>

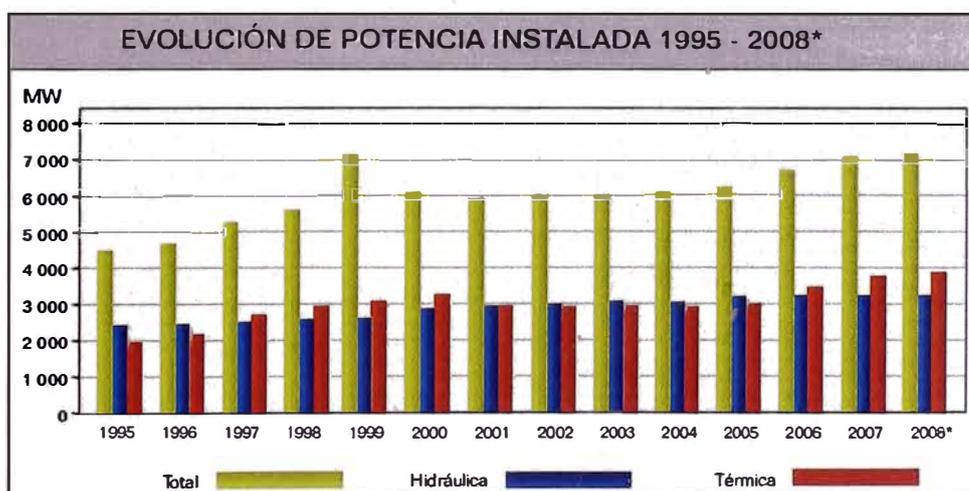


Figura N° 1.8.- Comparación de potencia instalada entre hidráulica y térmica

Fuente:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electrica/evolucion%20indicadores%202008.PDF>

Del artículo del Ministerio de Energía y Minas “Perú: Desarrollo del sector energía”, se presenta el Cuadro N° 1.1 donde se lista las centrales

hidroeléctricas que están siendo construidas o están en proyecto con su respectivo nombre y potencia, tienen como proyección finalizar el proyecto en las fechas indicadas en dicho cuadro.

Cuadro N° 1.1.- Plan de obras de Centrales Hidroeléctricas

Plan de obras		
Fecha	Proyecto	MW
May 2012	C.H. Huasahuasi - Hidroeléctrica Santa Cruz	10
May 2012	C.H. Nueva Imperial - Hidrocanete	4
Dic 2012	C.H. Yanapampa - Eléctrica Yanapampa	4
Dic 2012	C.H. Banos V - Empresa Administradora Chungar	9
Ene 2013	C.H. Las Pizarras - Empresa Eléctrica Río Doble	18
Mar 2013	C.H. Huanza - Empresa de Generación Huanza	91
May 2013	C.H. Manta - Peruana de Energías Renovables	20
Jul 2013	C.H. Machupicchu II etapa - Egemsa	100
Jul 2013	C.H. Tingo - Compañía eléctrica tingo	9
Jul 2013	C.H. San Marcos - Hidrandina	12
Ene 2014	C.H. Carpapata III - Cemento Andino	13
Feb 2014	C.H. Runatullo III - Empresa de Generación Eléctrica Junín	20
Feb 2014	C.H. Runatullo II - Empresa de Generación Eléctrica Junín	18
May 2014	C.H. Chancay - Sinersa	20
Jun 2014	C.H. Cheves - SN Power	168
Jul 2014	C.H. Shima - Energía Hidro	5
Oct 2014	C.H. Ángel II - Generadora de Energía del Perú	20
Oct 2014	C.H. Ángel III - Generadora de Energía del Perú	20
Oct 2014	C.H. Ángel III - Generadora de Energía del Perú	20
Oct 2014	C.H. Quitaraca - Enersur	112
Dic 2014	C.H. 8 de Agosto - Andes Generating Corporation	19
Dic 2014	C.H. El Carmen - Andes Generating Corporation	8
Dic 2014	C.H. Nueva Esperanza - Andes Generating Corporation	8
Ene 2015	C.H. Cachayllo - Aldana Contratistas Generales	4
Ene 2015	C.H. Huatziroki - Arzac Contratistas Generales	11
Ene 2015	C.H. RenovAndes H1 - Renovables de los Andes	20
Abr 2015	C.H. Santa Teresa - Luz del sur	98
Jul 2015	C.H. Chaglla - Empresa de Generación de Huallaga	456
Jul 2015	C.H. Cola 1 - Hidroeléctrica Cola	20
Jul 2015	C.H. Las Cruces - General Commerce	15
Dic 2015	C.H. Cerro del Águila - Cerro del Águila S.A.	525
Ene 2016	C.H. Pucará - Consorcio de Generación Pucará	150
Feb 2016	C.H. La Virgen - Peruana de Energía	64
Jun 2016	C.H. Olmos - Sinersa	60

Fuente:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/presentaciones/VME-Peru-China.pdf>

1.4 GESTIÓN DEL TIEMPO EN PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

La Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos (más conocida como PMBOK) es el estándar más ampliamente reconocido para manejar y administrar proyectos para que los profesionales puedan adaptar a cada caso y contexto particular los procesos, reconocidos como buenas prácticas por el PMI (Project Management Institute) que se pueden aplicar a la mayoría de los proyectos en la mayoría de los casos.

A continuación se definen los procesos de la gestión del tiempo del proyecto, el cual ha sido transcrito del libro "Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)" - Capítulo 6, página 129:

"La gestión del tiempo del proyecto incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo.

Definir las actividades – Es el proceso que consiste en identificar las acciones específicas a ser realizadas para elaborar los entregables del proyecto.

Secuenciar las Actividades - Es el proceso que consiste en identificar y documentar las interrelaciones entre las actividades del proyecto.

Estimar los Recursos de las Actividades - Es el proceso que consiste en estimar el tipo y las cantidades de materiales, personas, equipos o suministros requeridos para ejecutar cada actividad.

Estimar la Duración de las Actividades - Es el proceso que consiste en establecer aproximadamente la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar cada actividad con los recursos estimados.

Desarrollar el Cronograma - Es el proceso que consiste en analizar la secuencia de las actividades, su duración, los requisitos de recursos y las restricciones del cronograma para crear el cronograma del proyecto.

Controlar el Cronograma - Es el proceso por el que se da seguimiento al estado del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar cambios a la línea base del cronograma."

Se presenta un cuadro donde se resume todas las actividades y criterios a seguir en los procesos para la gestión del tiempo del proyecto

Cuadro N° 1.2.- Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto

Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto		
6.1 Definir las actividades	Entradas	Linea base del alcance
		Factores ambientales de la empresa
		Activos de los procesos de la organización
	Herramientas y técnicas	Descomposición
		Planificación gradual
		Plantillas
		Juicios de expertos
	Salidas	Lista de actividades
		Atributos de la actividad
Lista de hitos		
6.2 Secuenciar las actividades	Entradas	Lista de actividades
		Atributos de la actividad
		Lista de hitos
		Enunciado del alcance del proyecto
		Activos de los procesos de la organización
	Herramientas y técnicas	Método de diagramación por precedencia
		Determinación de las dependencias
		Aplicación de adelantos y retrasos
		Plantillas de red de cronograma
	Salidas	Diagrama de red del cronograma del proyecto
		Actualizaciones de los documentos del proyecto
6.3 Estimar los recursos de las actividades	Entradas	Lista de actividades
		Atributos de la actividad
		Calendario de recursos
		Factores ambientales de la empresa
		Activos de los procesos de la organización
	Herramientas y técnicas	Juicios de expertos
		Análisis de alternativas
		Datos publicados para estimaciones
		Estimaciones ascendentes
		Software de gestión de proyectos
	Salidas	Requisitos de recursos de la actividad
		Estructura de desglose de recursos
		Actualizaciones a los documentos del proyecto

Cuadro N°1.2.- Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto (continuación)

Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto		
6.4 Estimar la duración de las actividades	Entradas	Lista de actividades
		Atributos de la actividad
		Requisitos de recursos de la actividad
		Calendario de recursos
		Enunciado del alcance del proyecto
		Factores ambientales de la empresa
		Activos de los procesos de la organización
	Herramientas y técnicas	Juicios de expertos
		Estimación analoga
		Estimación paramétrica
		Estimación por tres valores
	Salidas	Análisis de reserva
		Estimados de la duración de la actividad
6.5 Desarrollar el cronograma	Entradas	Actualizaciones a los documentos del proyecto
		Lista de actividades
		Atributos de la actividad
		Diagrama de red del cronograma del proyecto
		Requisitos de recursos de la actividad
		Calendarios de recursos
		Estimados de la duración de la actividad
		Enunciado del alcance del proyecto
		Factores ambientales de la empresa
	Activos de los procesos de la organización	
	Herramientas y técnicas	Análisis de la red del cronograma
		Método de la ruta crítica
		Método de la cadena crítica
		Nivelación de recursos
		Análisis "¿qué pasa si...?"
		Aplicación de adelantos y retrasos
		Compresión del cronograma
	Herramientas de planificación	
	Salidas	Cronograma del proyecto
		Línea base del cronograma
datos del cronograma		
Actualizaciones a los documentos del proyecto		

Cuadro N°1.2.- Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto (continuación)

Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto		
6.6 Controlar el cronograma	Entradas	Plan para la dirección del proyecto
		Cronograma del proyecto
		Información sobre el desempeño del trabajo
		Activos de los procesos de la organización
	Herramientas y técnicas	Revisiones del desempeño
		Análisis de la variación
		Software de gestión de proyectos
		Nivelación de recursos
		Análisis "¿qué pasa si...?"
		Ajuste de adelantos y retrasos
		Comprensión del cronograma
	Herramienta de planificación	
	Salidas	Mediciones del desempeño del trabajo
		Actualizaciones de los activos de los procesos de la organización
		Solicitudes de cambio
		Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto
Actualizaciones a los documentos del proyecto		

Fuente: Project Management Institute. 2008.

CAPÍTULO II: CONCEPCIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS EN CAVERNA

2.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LIPLÉ

La C.H. Liple está ubicada en la localidad de Churín, distrito de Sayán, provincia de Huaura, departamento de Lima. La C.H. tendrá una potencia instalada de 168,2 MW que se obtendrá de los recursos hídricos de la cuenca de los ríos Huaura y Checra mediante el aprovechamiento de una altura bruta de 602 m y un caudal de diseño de 33 m³/s.

El Proyecto de central hidroeléctrica Liple se encuentra a una altitud promedio de 2000 msnm, el emplazamiento de éste se ubica entre las siguientes coordenadas:

8800348 N, 294004 E

8798195 N, 288460 E

La siguiente figura muestra el plano de ubicación de la C.H. Liple a escala 1/16000.

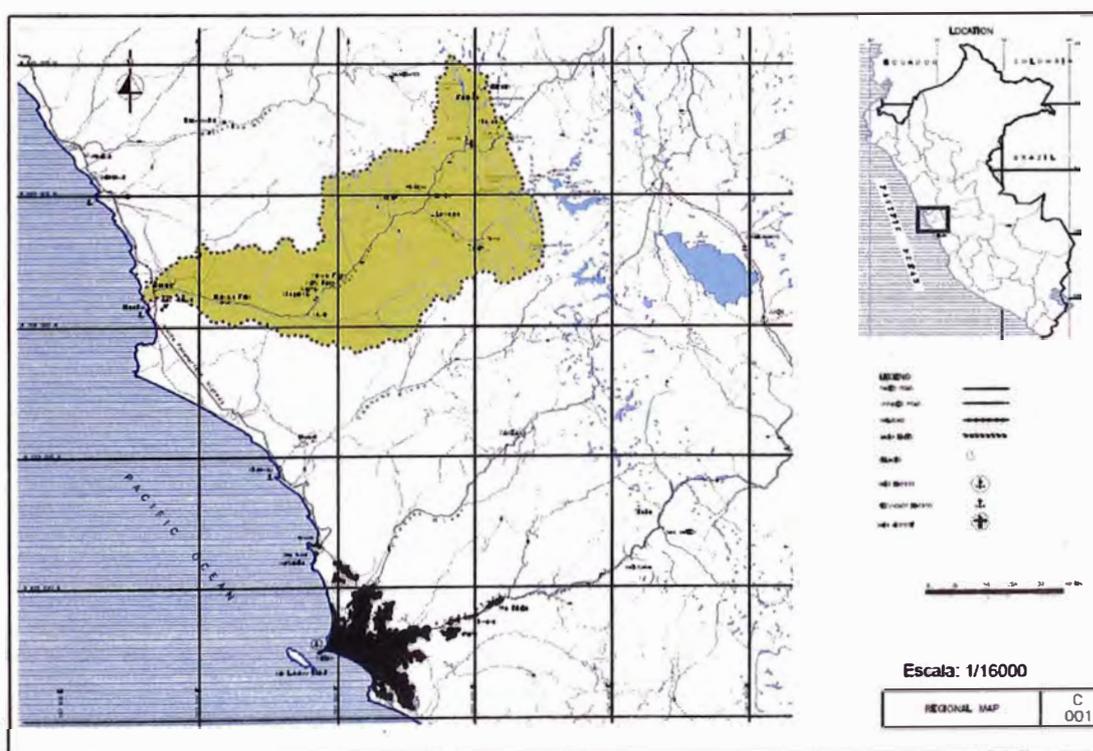


Figura N° 2.1.- Ubicación de la Central Hidroeléctrica Liple

Fuente: Norconsult (2013)

Las aguas del río Huaura son captadas mediante una Bocatoma y conducidas a través de un Túnel de Transferencia hacia la Presa Checras; luego, después de pasar por los desarenadores, las aguas son llevadas en un Túnel de Conducción con fuerte pendiente hasta la Casa de Máquinas en caverna, luego de pasar por la Tubería Forzada finalmente llega a la casa de máquinas en donde se encuentran dos turbinas de 86 MW tipo Pelton (5 inyectores). Las aguas turbinadas son devueltas al río Huaura por el Túnel de Descarga.

La C.H. inyectará la energía generada a la red del SEIN mediante la L.T. C.H. Cheves- S.E. Huacho de 75 km (220 kV). La instalación de la C.H. permitirá el incremento de la confiabilidad del Sistema Eléctrico Centro.

La central hidroeléctrica Liple funcionará como una planta de punta durante la estación seca, utilizando 0,8 millones m³ de la capacidad de almacenamiento del Reservorio de Regulación Horaria. Durante la temporada de lluvias la generación se realizará las 24 horas.

Los trabajos de construcción se iniciaron en noviembre de 2010 y la puesta en operación comercial está planificada para julio de 2014, según el Contrato de Concesión de Suministro de Energía (PPA, por sus siglas en inglés).

Cuadro N° 2.1.- Ubicación y características de la C.H. Liple

DENOMINACIÓN	Central Hidroeléctrica Liple	
TECNOLOGÍA	Generación Hidráulica	
UBICACIÓN	Departamento: Lima Provincia: Huaura Distrito: Sayán Altitud: 668msnm	
DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL	Potencia instalada: 168.2 MW Energía promedio anual: 426 GWh Tipo de central: Hidráulica de embalse Salto Bruto: 600m Número de unidades de generación: 2 turbinas Caudal nominal: 33 m ³ /s Recurso hídrico: Ríos Huaura y Checra Casa de máquinas: En caverna Desarenador: 3 naves de 8x10x80 (altura, ancho, largo)	
DATOS TÉCNICOS DE LA CASA DE MÁQUINAS	No. de unidades: 2 Elevación de centro de turbina: 1556 msnm Caída bruta: 602 m Dimensiones de la casa de máquinas WxLxH: 15.5m x 60m x 32m Dimensiones de la caverna de transformador: 11.2m x 27.5m x 14m	
DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA	Turbina G1	Turbina G2
Tipo de Turbina	Pelton eje vertical	Pelton eje vertical
Potencia Nominal	86 MW	86 MW
Velocidad angular	400 rpm	400 rpm
Caudal nominal	16.5 m ³ /s	16.5 m ³ /s
DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR		
Potencia	100 MVA	100 MVA
Tensión de generación	13,8 Kv	13,8 Kv
Factor de potencia	0.86	0.86
DATOS TÉCNICOS DEL TRANSFORMADOR		
Potencia	2x100MVA	
Nivel de tensión	13,8/220 kv	
DATOS DEL CONTRATO		
Tipo de contrato	Contratos licitados por PROINVERSIÓN	
Firma de contrato	03.1.2009	
Puesta en operación comercial (POC)	28.12.2014	
Monto de inversión	249.5 MM US\$	

Fuente: Osinergmin Gerencia de Fiscalización Eléctrica - Unidad de Supervisión de Post Privatización- USPP

2.2 COMPLEJO CASA DE MÁQUINAS

En la casa de máquinas se ubican dos unidades de generación de energía consistentes en turbinas Pelton y generadores. A través de los busbar, dispuestos en dos túneles, la energía es transferida a los transformadores

trifásicos ubicados en la caverna de transformadores adyacente y paralela a la casa de máquinas, la distancia entre la casa de máquinas y la caverna de transformadores es de 19m, la caverna de transformadores alberga un tablero SF6 ubicado sobre los transformadores.

Las unidades de generación son diseñadas con un arreglo compacto, donde el espacio de 20m entre las unidades es optimizado para albergar el equipamiento necesario además de los ejes para el equipo de levantamiento y las escaleras para el acceso del personal. La tubería forzada (penstock) conecta a la turbina en un ángulo de 60° con el eje longitudinal de la caverna el cual minimiza el espacio de la caverna.

La Figura N° 2.2 muestra la distribución de las turbinas en planta y su conexión con las tuberías forzadas.

La casa de máquinas ha sido diseñada para reemplazar de manera fácil el rodete de la turbina usando los ejes de levantamiento, la salida del rodete es por el túnel de descarga.

La disposición de la turbina a la elevación 1556 - 1557.75 msnm incluye el cuarto de ventilación y un intercambiador de calor para el sistema de enfriamiento del generador y transformador.

La disposición del piso de la turbina a la elevación 1561.3 msnm incluye la estación de transformadores y la bomba del sistema de enfriamiento.

La disposición del piso del generador a la elevación 1565 msnm incluye entre otros equipos del generador, terminales del generador y la distribución de corriente continua y corriente alterna.

La Figura N° 2.3 muestra la distribución de los ambientes mencionados anteriormente en elevación.

La altura necesaria sobre el piso de la sala de máquinas a la elevación 1569 msnm es definida por los requerimientos del equipo de levantamiento. La altura desde el piso hasta la parte superior del carril de la grúa es de 8.0m.

El bloque de oficinas está ubicado a la izquierda cuando se ingresa a la caverna de casa de máquinas, que comprende las oficinas de sala de control, vestuarios, salas de conferencia, sanitarios y la sala de rescate.

El tanque de agua de refrigeración está ubicado en un nicho excavado al interior de la caverna.

La caverna de transformadores alberga dos transformadores trifásicos. Cada transformador se ubica por separado en una celda de transformadores de 6.m de ancho, 10 m de largo y 6m de altura. En el muro frontal de la celda se encuentra una puerta de acceso de personal y una viga de concreto que cubre del tránsito abierto al transformador. Cada celda está diseñada como un compartimiento estructural auto sostenible en caso de una deflagración de vapor de aceite, entiéndase como deflagración a la combustión súbita con llamas a baja velocidad de propagación pero sin explosión.

Cada transformador tiene una compartimiento colector de derrame de aceite de aproximadamente 40 m³. El compartimiento de derrame de aceite está separado de la celda del transformador con un filtro de grava sobre una rejilla de acero el cual funciona como supresor de llamas en caso de incendio.

La altura de la caverna de transformadores proporciona espacio para el tablero SF6 y el tendido de cable de 220kv hacia el ducto de cables del túnel de acceso.

La orientación de la caverna de la casa de máquinas ha sido seleccionada basada en un patrón como medidas en la superficie y la orientación asumida de los esfuerzos principales.

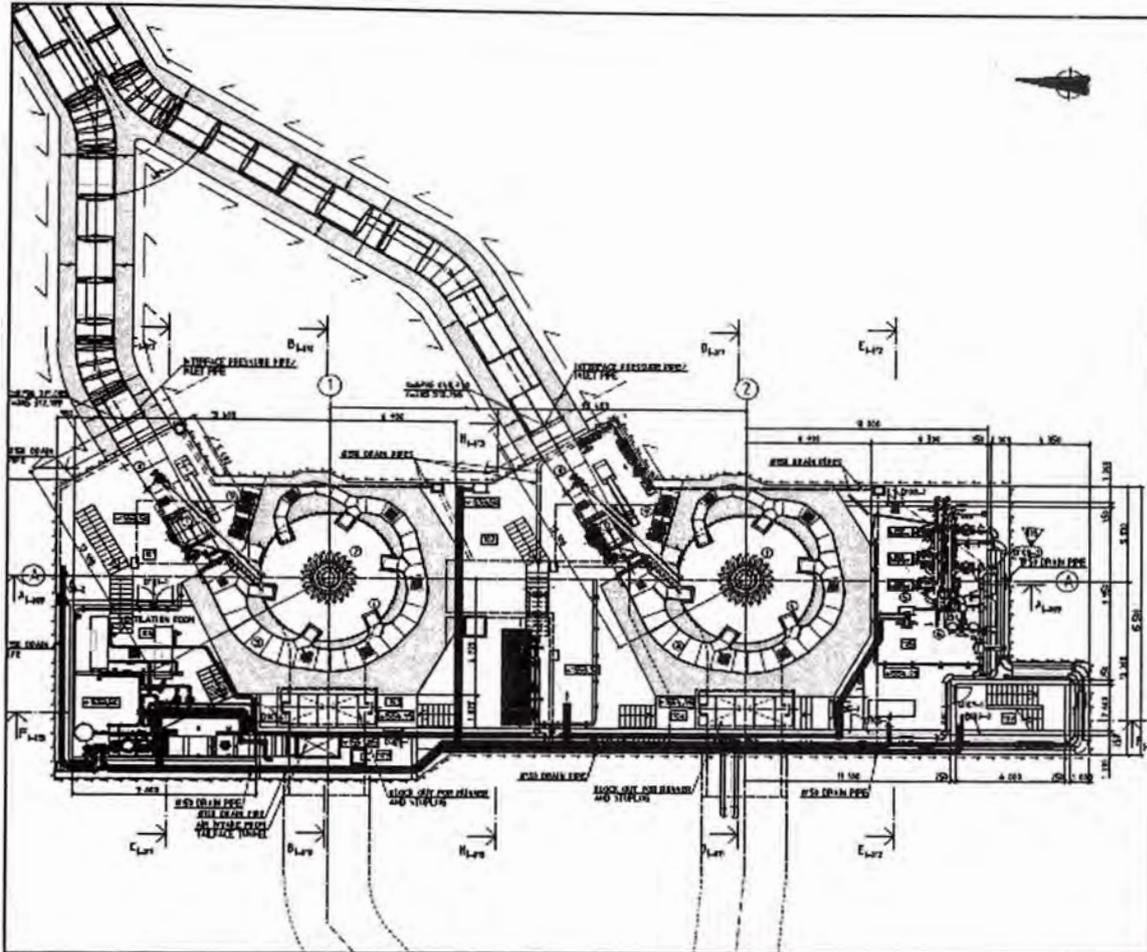


Figura N° 2.2.- Plano en planta – Casa de máquinas C.H. Liple

Autor: Norconsult (2013)

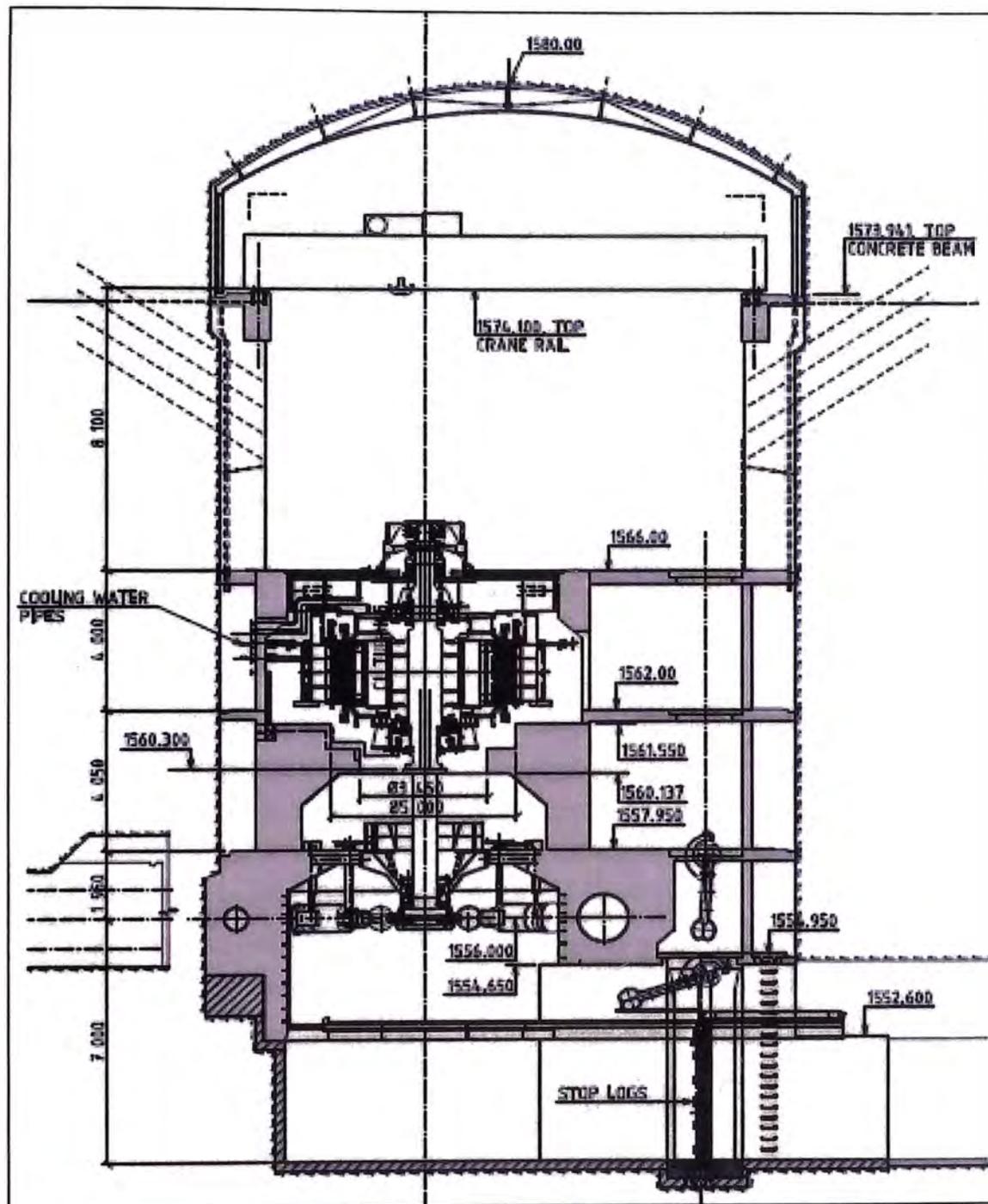


Figura N° 2.3.- Plano en corte casa de máquinas C.H. Liple

Autor: Norconsult (2013)

2.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Los detalles del análisis estructural fueron llevados a cabo luego que el equipo fue seleccionado y ordenado a los fabricantes. En general, el diseño de cargas se hizo considerando la ubicación, clima, geología, función y propiedades de los materiales. El criterio de cargas a ser considerado en el análisis estructural se especifica líneas abajo.

Las cargas vivas serán determinadas de acuerdo a los requerimientos funcionales para los diferentes componentes estructurales.

Se producen diferentes tipos de carga viva:

- Una carga uniformemente distribuida mínima de 10kN/m² fue aplicada en los pisos que sirvan a instalaciones pesadas y 5KN/m² fue aplicada en los otros pisos.
- Además, los pisos fueron diseñados para cargas concentradas procedentes de los equipos pesados.
- Las áreas de izaje incluyendo las superestructuras fueron diseñadas para cargas originadas por carga y descarga, maniobras e izaje de las piezas de los equipos más pesados tales como el generador estator y rotor, cubiertas de espiral, rodete, válvulas de entrada, ejes, transformadores, etc., usando el puente grúa.
- Las estructuras afectadas fueron diseñadas por cargas concentradas en movimiento originadas de la operación de las grúas, transporte de transformadores y de camiones que transportan las partes más pesadas del equipo. El efecto del impacto será considerado como una carga adicional cuyo valor es un incremento del 10% del valor estático

Las cargas procedentes de la construcción, izaje y prueba, operación, inspección futura y mantenimiento fueron consideradas.

El edificio de la casa de máquinas fue diseñado con una carga sísmica correspondiente a una aceleración de 0.4g en la dirección más desfavorable.

El piso que soporta la sala de máquinas tiene un espesor de concreto de 0.40m incluyendo el piso nivelado. Los muros que transfieren las cargas verticales de la sala de máquinas tienen un espesor de 0.30m.

Las celdas de los transformadores están dimensionadas con una carga uniforme accidental de vapor de aceite de deflagración de 50 KN/m² (5 bar). En el pasaje de las celdas de transformadores una carga uniforme accidental de 5 KN/m² fue aplicada a las puertas, muros, etc., para asegurar que el vapor de aceite de la deflagración de una celda no afecte la celda vecina.

Finalmente el techo de la casa de máquinas estará provisto de un cielo raso en forma de arco para la protección de gotas con unas placas de acero que serán ajustadas a la roca con pernos.

2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO SIMPLIFICADO DE OBRAS CIVILES

La secuencia se definirá por niveles hasta llegar al nivel de turbinas (ver Figura N° 4.2), salvo el puente grúa el cual se emplaza en un nivel superior, sin embargo su construcción se realizó antecediendo a las demás.

- La primera estructura de concreto en construirse es el puente grúa, éste deberá ser instalado en una primera etapa para que sirva en la instalación de tuberías y en los primeros trabajos de concreto, la parte de arriba de las columnas del puente grúa serán sujetadas a la roca con pernos inclinados. Todas las cargas de la grúa en la primera etapa (levantamientos menores) serán transferidas a la roca. En la última etapa cuando las estructura de soporte de carga de concreto hayan sido construidas, las columnas del puente grúa tendrán soporte estructural completo en la parte inferior.
- En el nivel 0 se hará el enmallado del sistema de puesta a tierra, luego de ello se procederá a construir la primera losa o piso, seguidamente se construirán los muros que corresponden al soporte de turbinas y a su vez a la descarga del agua.
- Se construirá la base de los pedestales, después de ello los pedestales donde descasaran los distribuidores, inyectoros y donde se colocará el rodete.
- Se construirá el siguiente nivel comenzando por las losas, seguido los muros y en paralelo a estos últimos los bloques de concreto donde serán embebidos los elementos mencionados, finalmente la losa del nivel turbinas.

CAPÍTULO III: MODIFICACIONES EN LA PROGRAMACIÓN

En este capítulo se resalta los hechos que modificaron la fecha de inicio en la programación de la construcción de la casa de máquinas, cabe señalar que dichos eventos no influyeron sobre la secuencia constructiva de las actividades pero si fueron determinante en los atrasos del inicio de la construcción de la casa de máquinas, por lo tanto generaron pérdida de dinero.

3.1 CONTRATO FIDIC

Aquí se explica bajo qué condiciones se ha modificado la programación, es decir cláusulas del contrato, estas cláusulas no son exclusiva para la programación de la casa de máquinas en caverna sino para toda la programación del proyecto en la Central Hidroeléctrica Liple.

La empresa contratista firmó contrato con los propietarios bajo las condiciones de contrato para la construcción FIDIC siglas en francés Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils que traducido al español significa Federación Internacional de Ingenieros Consultores, es una organización de estándares internacionales para la industria de la construcción, más conocido por la familia de modelos de contratos FIDIC. La central hidroeléctrica Liple se ha basado en los conceptos FIDIC según el libro rojo "Conditions of Contract for Construction" para crear sus condiciones de contrato.

A continuación la traducción de parte de la cláusula 8 del libro rojo FIDIC, el texto original se ubica en el anexo 3, ésta cláusula es de interés para tener conocimiento de los procedimientos y obligaciones que tiene el contratista en la entrega de programas actualizados:

"Subcláusula 8.1 Inicio de la obra: El Ingeniero notificará al Contratista con al menos siete días de preaviso de la fecha de Inicio. A menos que se indique otra cosa en las condiciones particulares, la fecha de Inicio debe estar dentro de 42 días después de que el contratista reciba la carta de aceptación.

El contratista deberá iniciar la ejecución de las Obras tan pronto como sea razonablemente posible la fecha efectiva de inicio, y luego procederá con las obras con la diligencia debida y sin demoras.

Subcláusula 8.2 Plazo de terminación: El Contratista terminará todas las obras, y cada sección (si la hubiere), dentro del plazo de terminación de las obras o la sección (conforme proceda), que incluyen:

- (a) El logro de la aprobación de las Pruebas de terminación, y
- (b) Completar todo el trabajo que aparece en el contrato que son necesarios para las obras o la sección que se deben considerar para ser completado a efectos de hacerse cargo de conformidad con la subcláusula 10.1 [Recepción de las Obras y Secciones].

Subcláusula 8.3 Programa: El Contratista deberá presentar un programa de tiempo detallado al Ingeniero dentro de los 28 días después de recibir el aviso de conformidad con la subcláusula 8.1 [Inicio de las Obras]. El Contratista también deberá presentar un programa revisado cada vez que el programa previo no sea consistente con el progreso real o con las obligaciones del Contratista. Cada programa deberá incluir:

- (a) el orden en que el Contratista tiene la intención de llevar a cabo las Obras, incluido el tiempo anticipado de cada etapa de diseño (si la hubiere), los documentos del Contratista, adquisiciones, fabricación de los equipos, la entrega al sitio, construcción, montaje y pruebas,
- (b) cada una de estas etapas de trabajo designado por cada Subcontratista (según se define en la Cláusula 5 [Subcontratistas Designados]),
- (c) la secuencia y tiempos de las inspecciones y pruebas especificados en el Contrato, y
- (d) un informe de apoyo que incluya:
 - (i) Una descripción general de los métodos que el contratista tiene intención de adoptar, así como de las principales etapas en la ejecución de las Obras, y
 - (ii) detalles que muestran una estimación razonable del número de cada clase de personal del contratista y de cada tipo de equipos del Contratista requeridos en el sitio para cada etapa importante.

A menos que el Ingeniero, dentro de los 21 días después de recibir un programa, notifique al Contratista indicando la medida en que no cumple con el Contrato, el Contratista procederá de conformidad con el programa, sin perjuicio de sus demás obligaciones en virtud del Contrato. Personal del Contratante tendrá derecho a confiar en el programa en la planificación de sus actividades.

El Contratista notificará sin demoras al Ingeniero de los eventos probables futuros o circunstancias que puedan afectar negativamente al trabajo, aumentar el Precio del Contrato o demorar la ejecución de las Obras. El Ingeniero podrá exigir al Contratista que presente una estimación del efecto esperado del evento o circunstancias futuras, y / o una propuesta bajo la Subcláusula 13.3 [Procedimiento de Variación].”

Si en cualquier momento el Ingeniero notifica al Contratista que un programa falla (en la medida indicada) para cumplir con el Contrato o que sea consistente con el progreso real y las intenciones declaradas por el contratista, el contratista deberá presentar un programa revisado para el Ingeniero de conformidad con esta Subcláusula.

3.2 HISTORIAL DE PROGRAMAS - PROGRAMACIÓN DEFINITIVA

En este ítem se hace un resumen de los programas que se presentaron para la ejecución de todo el proyecto Liple y su influencia en la postergación del inicio programado para la construcción de la casa de máquinas.

Con fines de licitación, como requisito, el contratista principal es decir el contratista civil, presentó un programa general de toda la obra a fines del año 2010, luego de ganar la oferta el contratista principal, presentó un programa más detallado en abril del 2011 que reemplazó al primer programa incluyendo la programación de la construcción de la casa de máquinas en caverna, a este último programa se le dio validez contractual lo que significa que según contrato este último programa es válido y por tanto se le generó la línea base.

Para este programa contractual la construcción de obras civiles en la casa de máquinas en caverna debió comenzar a inicios de noviembre del 2012, con 1 año y 6 meses de duración, sin embargo no se cumplió por los acontecimientos que se detallarán más adelante.

Con la presentación del programa de abril del 2011 se hizo modificaciones a dicho programa por partes, es decir se modificó según era necesario en los diferentes frentes de trabajo por separado. En mayo del 2012 se presentó un programa producto de la integración de todas las modificaciones hechas por separado el cual sería válido operacionalmente mas no tendría validez contractual debido a que surgieron eventos en el transcurso de la obra que generaron atrasos donde ambas partes, contratista principal y propietario, no conciliaban quien asumiría los gastos generados por el atraso, por tanto para liberar de trabas la continuación de las obras se realiza el programa operacional y se deja las disputas para juicios futuros. Según el programa de mayo del 2012 la construcción de obras civiles de la casa de máquinas en caverna debió iniciar a fines de septiembre del 2012 con una duración de 1 año y 7 meses, con esta nueva fecha se adelantó el inicio de las obras civiles en comparación con el programa precedente, sin embargo no se inició en la fecha indicada.

Se presentaron muchos problemas que dieron lugar a más modificaciones y por tanto nuevas versiones del programa con diferentes fechas de inicio de las obras civiles en la casa de máquinas, todos los programas presentados después del programa contractual fueron un seguimiento de lo ejecutado real, lo que faltaba ejecutar se presentó como proyección a futuro.

Finalmente, después de todos los acontecimientos que retrasaron el inicio de las obras civiles, ésta finalmente se inicia a fines de mayo del 2013.

3.3 EVENTOS QUE POSTERGARON EL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS

Para construir la casa de máquinas en caverna, primero se excavó el túnel de acceso para llegar a la ubicación donde se emplazó la caverna de la casa de máquinas y transformadores, luego de ello se procedió con la excavación de la caverna donde se construyó la casa de máquinas.

A continuación se enumera los hechos que indirectamente no permitieron el inicio de la construcción de la casa de máquinas en caverna en las fechas programadas.

- Se paralizaron los trabajos de sostenimiento del portal del túnel de acceso por intervención de la comunidad, esta no permitía que los trabajos continúen.

- Durante la excavación del túnel de acceso se cambió la ubicación de la caverna de la casa de máquinas por malas condiciones de la roca, se movió 100 m aguas abajo lo que ocasiona una paralización en la excavación del túnel por cambios de diseño.
- Se cambió la orientación de la caverna de la casa de máquinas dado que los ensayos overcoring 3D arrojaron como resultado esfuerzos no convenientes, lo que ocasionó una paralización en la excavación del túnel por cambios de diseño.
- Se encontró zona de abundante agua durante la excavación del túnel de acceso, lo que hace más lento el avance ya que el procedimiento de excavación cambió.
- Durante la excavación de la caverna de la casa de máquinas se encontró pobres condiciones geológicas de la roca lo que generó sobre excavación, mayor tiempo de desate de rocas y limpieza, mayor tiempo de sostenimiento de la roca, además debido al fracturamiento de la roca tomo más tiempo la inyección de los pernos y mayor cantidad de lechada ya que ésta fugaba por las grietas de la roca.
- Ocurrieron accidentes en otros frentes (túneles) que repercutieron en todos los trabajos de excavación mientras se hacían las investigaciones y se mejoraban los métodos de sostenimiento.
- En dos ocasiones se tuvo que rellenar la caverna ya que el sostenimiento no fue el adecuado, el diseño de la profundidad a la que se colocaron los pernos dejo sin efecto a estos contra en cerramiento de la caverna es decir la convergencia, por tanto se tuvo que rellenar la caverna para adicionar más pernos y mejorar el sostenimiento.

Todos los trabajos de excavación del túnel de acceso, la excavación de la caverna de la casa de máquinas y los problemas ocurridos duró aproximadamente 2 años con 2 meses. La excavación del túnel de acceso (1050 m aproximadamente) inicia a mediados de abril del 2011 y los trabajos de excavación de la caverna de la casa de máquinas inicia a mediados de enero del 2012 y culmina a fines de mayo del 2013.

Todos estos trabajos sugieren tener en cuenta para el futuro las actividades que generaron atraso por los diferentes motivos que se han mencionado, los conflictos con la comunidad se pueden manejar desde antes del inicio de las

obras, establecer un vínculo y hacer el seguimiento para contrarrestar cualquier problema con la comunidad. Los cambios en el diseño mientras se construye las obras pueden manejarse haciendo estudios más rigurosos en conjunto con ensayos más precisos, analizando costos beneficios. Las incertidumbres como excesivas filtraciones de agua o pésimas condiciones de la roca se podría manejar dejando un colchón de amortiguación en la duración programada.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN Y LA EJECUCIÓN REAL

La programación de la casa de máquinas en caverna presenta tres hitos los cuales son metas establecidas para ser alcanzadas en un plazo dado bajo ciertas condiciones. Se muestra en la Figura N° 4.1 la extensión que abarcan cada uno de los tres hitos antes mencionados, el primer hito de color rosado, segundo hito de color celeste y tercer hito de color mostaza.

De los tres hitos de la casa de máquinas que se describen a continuación, el segundo y parte del tercero son analizados en este informe, éstas se refieren a la construcción de la casa de máquinas propiamente dicha (estructuras de concreto), luego de terminar la excavación, hasta el nivel de turbinas – nivel 9.0.

Primer hito – Instalación del puente grúa

Consiste en la construcción de las columnas y vigas de concreto y la instalación del puente grúa, la grúa se ubica en la parte superior, descansa en los rieles sobre las vigas, permitiendo movilizar e izar elementos tales como turbinas y generadores del contratista electromecánico así como material y equipos del contratista civil. Tiene una duración de 44 días para la parte civil y 30 días para la parte electromecánica según la programación. Esta estructura se construyó durante la etapa de excavación de la caverna.

Segundo hito – Instalación de los distribuidores

Esta es la primera parte del enfoque del presente informe, con éste se da inicio a la construcción de la casa de máquinas desde la cimentación hasta los pedestales donde descansarán los distribuidores, el hito implica todos los acabados descritos en los planos hasta el nivel de los pedestales, con la entrega del área al contratista electromecánico se da por cumplido el segundo hito. Tiene una duración de 42 días para el contratista civil, luego el contratista electromecánico ingresa con el montaje e izaje de las piezas que componen la turbina con 60 días como plazo para entregar las 2 turbinas al contratista civil.

Tercer hito – Casa de máquinas y caverna de transformadores listas para instalaciones electromecánicas

Esta es la segunda parte del enfoque del presente informe, consiste en alcanzar el nivel de la última losa de concreto (nivel 17.00) junto con las unidades 1 y 2 sin acabados. Del total del tercer hito, se analizará hasta el nivel de turbinas - nivel 9.00 (ver Figura N° 4.2). La Figura N° 4.2 muestra la extensión que abarca el presente informe resaltado de color verde.

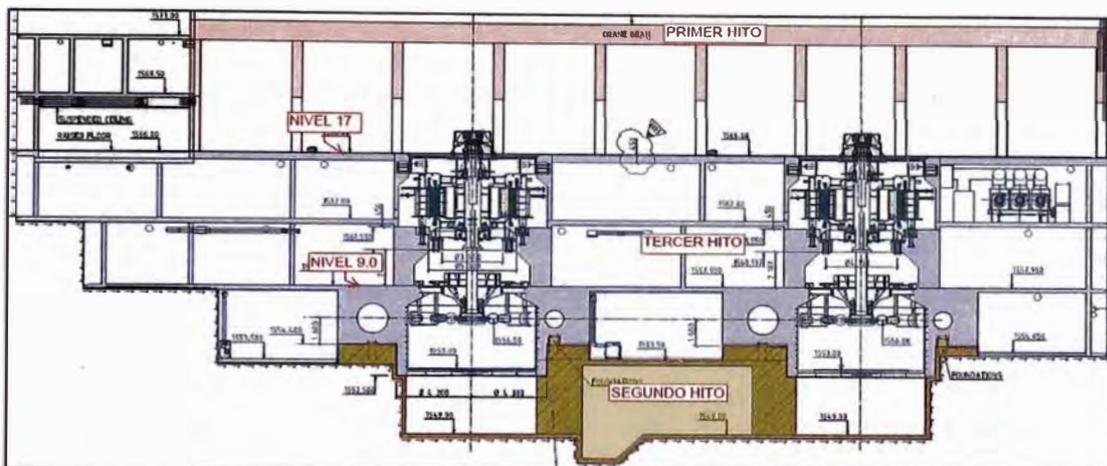


Figura N° 4.1.- Hitos

Fuente: Norconsult. (2013).

La programación de la casa de máquinas en caverna con la cual se hará la comparación y análisis, ya que existen varios programas que han sido superados, para el segundo hito será la programación operacional que se presentó a inicios de Junio del 2013. La programación con la cual se hará la comparación y análisis para el tercer hito – nivel de turbinas - será el programa operacional que se presentó a mediados de septiembre del 2013.

Tener presente que los cambios en el inicio de la programación de la casa de máquinas en caverna descritos en el capítulo 3, no afectaron la secuencia de la programación ni las duraciones de las actividades, solo se movió como un bloque toda la programación conforme se iba actualizando la fecha de inicio de la construcción.



Figura N° 4.2.- Alcance del informe – hasta nivel de turbinas

Fuente: Norconsult. (2013).

4.1 ANÁLISIS DEL SEGUNDO HITO

Este hito se alcanzó luego de 53 días de la culminación de los trabajos de excavación e iniciaran los trabajos civiles, se alcanzó 11 días después de lo pactado inicialmente (42 días), pero se culminó con éxito según el nuevo acuerdo (se detalla más adelante) es decir exactamente en 53 días.

Para alcanzar con éxito el segundo hito, el recorrido fue bastante dificultoso y agitado por las condiciones reales de trabajo a la que se tuvo que adaptar.

Hubo actividades que no estaban previstas en la programación de la casa de máquinas en caverna, éstas se fueron desarrollando conforme se iba construyendo así como también hubo eventos y atrasos que no eran imputables al contratista civil.

4.1.1 Condiciones del segundo hito

La segunda entrega estuvo bajo las siguientes condiciones según el programa:

- Doble turno, es decir trabajos de 11 horas en el turno día y 11 horas en el turno noche, con aproximadamente 90 personas trabajando en la producción repartidas en ambos turnos.
- Un plazo de 42 días para la entrega, con el puente grúa totalmente operativo, gancho principal de 160tn y gancho auxiliar de 15tn operativos.
- El trabajo se debía de avanzar en paralelo en ambas unidades 1 y 2 y la zona de bombas, el segundo hito consistía en entregar las 3 áreas mencionadas al propietario y al contratista electromecánico

Sin embargo las condiciones reales fueron:

- El segundo hito dio comienzo con la entrega de los trabajos de excavaciones al contratista civil, se entregó con niveles por debajo de los niveles de excavación y con sobre anchos considerables,
- El puente grúa se encontraba totalmente inoperativo con daños desde las bases de las rieles.
- La construcción de las unidades no se podían hacer en paralelo, se decidió comenzar por la unidad 1 luego la unidad 2, el sector de la tercera etapa no estaba considerada dentro de los entregables para alcanzar el segundo hito (Ver Figura N° 4.5)
- Se trabajó con 74 personas en promedio para la producción, repartidos en turno día y noche,
- Se inició con un plazo de 42 días hasta aproximadamente la mitad de plazo del segundo hito, sin embargo por las condiciones reales, las unidades no se trabajaban en paralelo, la fecha de entrega del segundo hito se modificó luego de llegar a un acuerdo con el propietario, dando un plazo de 53 días para la entrega.

4.1.2 Repercusión del Puente grúa en el segundo hito

Antes de presentar el análisis de la programación y la ejecución real, se hace mención de un evento ocurrido que trajo consigo actividades no previstas en la etapa de la construcción de la casa de máquinas que impactó durante todo el segundo hito y parte del tercer hito, por tal motivo es una restricción que está presente en toda la programación de los hitos mencionados.

La actividad que causó un mayor impacto en tiempo y costos fue la reparación del puente grúa desde sus bases, el daño sucedió en la etapa de excavación, la cual tuvo trascendencia en la etapa de construcción de obras civiles. Se pasa a detallar los hechos ocurridos en este evento.

Durante la etapa de excavación de la casa de máquinas se construyó las columnas y vigas donde descansa el puente grúa, se montó e instaló dicha grúa que serviría más adelante en la etapa de obras civiles, para movilizar materiales como encofrado, acero, gravilla, insertos, etc, para el contrato civil y para movilizar las piezas, izar e instalar las turbinas del contrato electromecánico. Se

instaló las placas de los rieles sobre las vigas, se grouteó las placas, se instaló los rieles, se montó el puente grúa y se dejó operativo el puente grúa (con este último se alcanzó el primer hito), se continuó con la excavación de la caverna, en este proceso hubo convergencia, en toda excavación se provoca un reajuste de tensiones en las proximidades de las paredes de la excavación, como consecuencia se producen movimientos del terreno hacia el interior de la excavación tratando de cerrar la caverna.

A inicios de marzo del 2013 se hizo una inspección al puente grúa donde se percataron que producto de la convergencia las placas de las rieles que van sobre el grout habían sido desalineadas pasando los límites permisibles, además debido a la excavación la proyección de rocas partidas impactaron contra partes del puente grúa y el polvo que generó las voladuras estaba cubriendo con capas gruesas las partes sensibles como el interior de los tableros eléctricos, producto de la inspección se presentó un informe del estado del puente grúa.

Con esto se diferenció dos tipos de daños en el puente grúa:

- 1) Debido a la convergencia se desalinearon las placas sobre las cuales van los rieles por donde se desplaza el puente grúa. Reparación a cargo del contratista electromecánico y civil.
- 2) Debido a las voladuras en la etapa de excavación, las rocas proyectadas impactaron sobre elementos del puente grúa dejándolos inoperativos además que el polvo generado cubrió partes sensibles del puente grúa. Reparación a cargo del contratista electromecánico.

Luego del informe no se comenzó con los trabajos de reparación del puente grúa ya que no se conciliaba sobre quien caería la responsabilidad de la reparación, mientras los trabajos de excavación continuaban y se planteaban soluciones para la reparación del primer tipo de daño del puente grúa, los propietarios luego de una fallida solución, dieron la instrucción de retirar las placas y el grout para colocar nuevas placas y nuevo grout, con esto la base donde se desplaza el puente grúa había sido reparado, el costo de esta reparación fue asumida por el propietario ya que la responsabilidad cayó sobre él, hasta ese entonces la construcción de la casa de máquinas estaba en los inicios del primer nivel (Ver Anexo 1 – Planos).

La construcción de la casa de máquinas ya había iniciado sin embargo la responsabilidad de los daños del segundo tipo seguía en discusión, mientras la reparación continuaba y los costos eran asumidos por el propietario. El panorama al iniciar con la construcción era el siguiente:

- El puente grúa estaba inoperativo,
- La empresa subcontratada no contaba con personal calificado en ese momento,
- Los repuestos y partes a reemplazar tenían que importarse.

Durante el periodo para alcanzar el segundo hito los trabajos de reparación se pueden resumir como trabajos sin planificación de tiempos ni recursos, se fueron encontrando nuevos daños conforme se fueron reparando otros, aplazando la entrega del puente grúa totalmente operativo, mientras el contratista civil continuaba avanzando para alcanzar el segundo hito sin el puente grúa.

El puente grúa cuenta con 2 dos ganchos, uno principal y otro secundario, estos 2 ganchos tomaron más tiempo en reparar, los cables del gancho principal fueron dañados por el impacto de rocas, la importación de estos cables y su reparación propiamente dicha tomó tiempo por la dificultad de acceso hacia este gancho, se tuvo que armar un sistema de andamios de 7m de altura para poder llegar al gancho, inspeccionar los daños y repararlos. Este gancho estuvo operativo a inicios de septiembre del 2013, hasta esta fecha ya se había alcanzado el segundo hito (mediados de julio). Mientras se reparaba el gancho principal se dieron cuenta que el gancho secundario presentaba abolladuras también producto de la proyección de rocas, importar este gancho tomó mucho tiempo, estuvo operativo a inicios de octubre del 2013.

El impacto que iba a generar la inoperatividad del puente grúa en la producción por tanto en los plazos, ya que había de por medio el cumplimiento de un hito, se pudo amortiguar recurriendo a las soluciones que se describen más adelante.

4.1.3 Actividades programadas

En este ítem se presenta un resumen de la secuencia de las actividades previstas en la programación para luego hacer un contraste con la ejecución real y actividades no previstas. Como se mencionó en el ítem 4.1.1 según el programa la construcción de las unidades 1, 2 y la zona de bombas debían

hacerse en paralelo (Ver anexo 2 – Programas), la construcción de la unidad 2 comienza 2 días después del inicio de la construcción de la unidad 1. A continuación se lista secuencialmente los procesos que debían completarse según el cronograma y sus duraciones para alcanzar el segundo hito bajo condiciones contractuales, algunas actividades de los procesos tienen traslapes con otras actividades. Para un mejor entendimiento de los procesos programados ver Figura N° 4.3 y Anexo 2. La Figura N° 4.3 muestra las juntas de construcción en el proceso constructivo de acuerdo a lo programado.

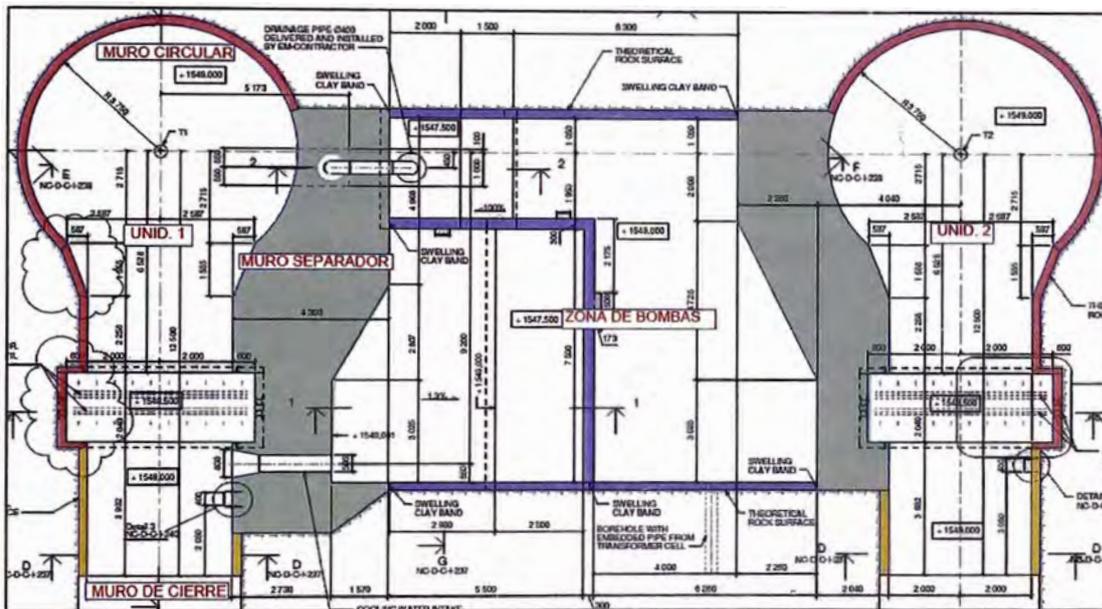


Figura N° 4.3.- Cortes de vaciados de concreto programados – Planta nivel 0

Fuente: Norconsult. (2013).

Trabajos preliminares	6 días	
Unidad 1 y 2	Unidad 1	Unidad 2
Losa inferior – hasta nivel 0	7 días	7 días
Muro circular – hasta nivel 3.5	7 días	11 días
Muro separador – hasta nivel 3.5	11 días	11 días
Muro de cierre – hasta nivel 3.5	7 días	

Losa superior – hasta nivel 5.4	10 días	9 días
Pedestales del distribuidor	4 días	4 días
<u>Zona de bombas</u>		
Losa inferior – nivel 0		9 días
Muros hasta nivel 4.2		8 días
Losa hasta nivel 4.5		8 días

4.1.4 Ejecución real de las actividades programadas

Se inició los trabajos de concreto en la casa de máquinas estando el puente grúa inoperativo, se optó como solución ingresar los materiales y hacer el montaje de los encofrados con una grúa de 40 toneladas, se eligió ésta por la longitud de su brazo, el acero y materiales más livianos fueron ingresados manualmente, la grúa se colocó en la unidad 2 y desde allí se construyó la unidad 1 y la zona de bombas (Ver Figura N° 4.4). Un camión pluma de 5 toneladas suministró el material pesado a la grúa de 40tn. La Figura N° 4.4 muestra las denominaciones que se le ha dado a las zonas para mantener un orden y para que el texto sea más entendible.

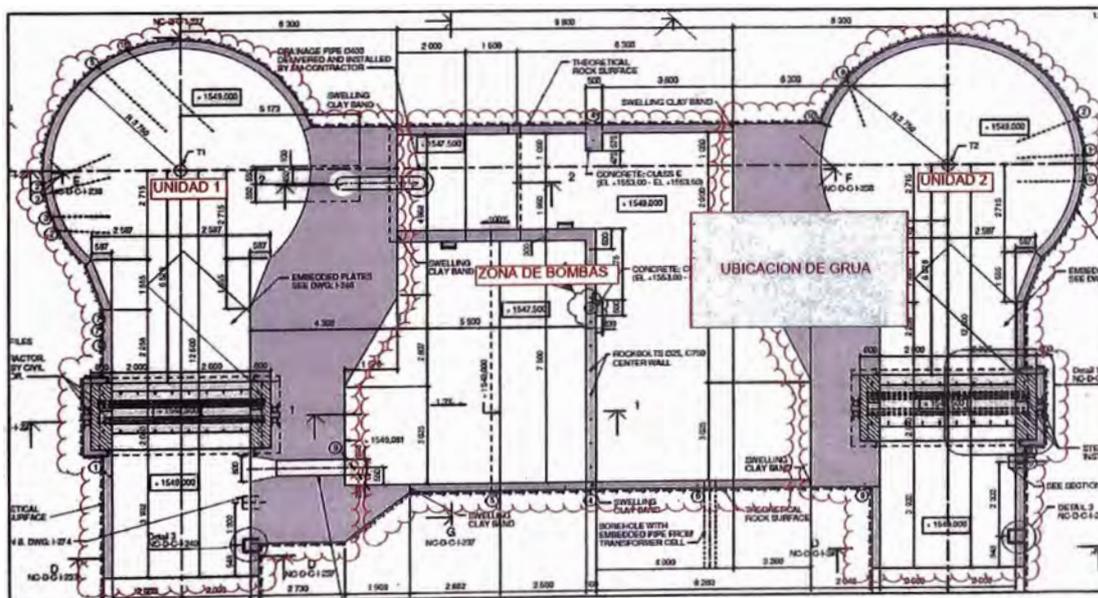


Figura N° 4.4.- Zonas de trabajo – Planta nivel 0

Fuente: Norconsult. (2013).

Por falta del puente grúa, se dividió el área en tres etapas basado en la longitud de alcance de los brazos de las grúas de 40tn y 5tn, la Figura N° 4.5 muestra éstas etapas las cuales son: primera etapa limitada de color rojo, segunda etapa limitada de color azul y tercera etapa limitada de color verde. Ésta división es válida y funcional solo hasta el nivel 3.5 para las unidades y nivel 4.2 para la zona de bombas (ver Figura N° 4.6), de ahí en adelante no hay acceso al interior de la zona de trabajo para grúas. La unidad 2 se hizo en dos etapas (segunda y tercera etapa) ya que la grúa de 5tn debía entrar al interior de dicha unidad para que su brazo alcance la zona de bombas y la unidad 2, si no hubiese sido de esta manera el brazo hubiese sido atajado por las paredes del túnel de descarga. La tercera etapa no está considerada dentro de los entregables para alcanzar el segundo hito (Ver Figura N° 4.5). La Figura N° 4.5 muestra la extensión que abarca cada etapa en la que se dividió la casa de máquinas por falta del puente grúa, la Figura N° 4.6 muestra los niveles o cotas relativas que se ha dado en este informe para dar una visualización más rápida de las dimensiones de las estructuras.

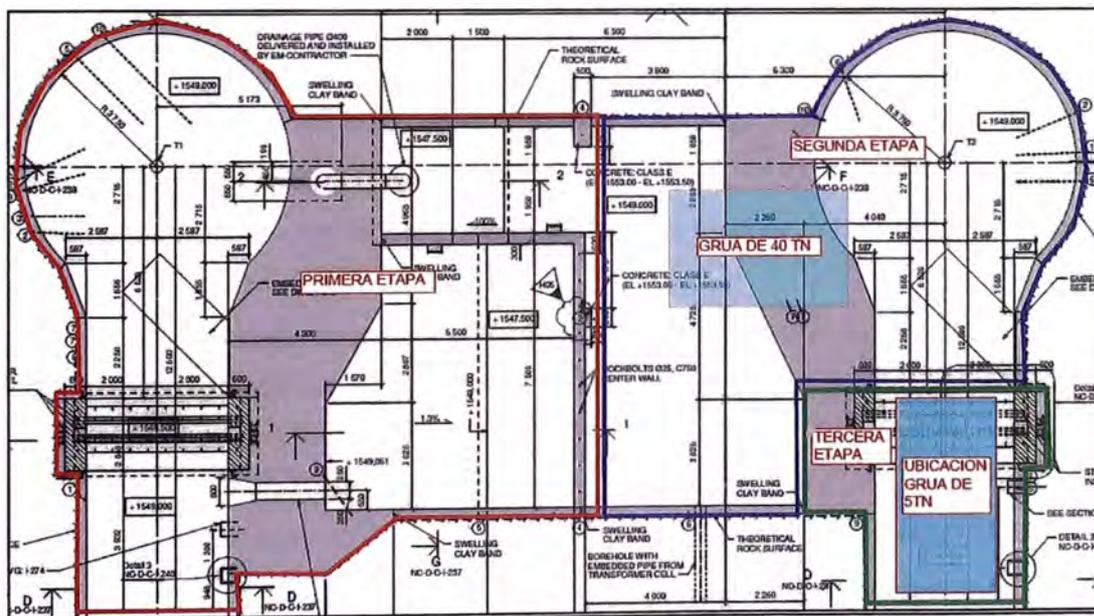


Figura N° 4.5.- Sectorización de etapas de construcción por falta de puente grúa – Planta nivel 0

Fuente: Norconsult. (2013).

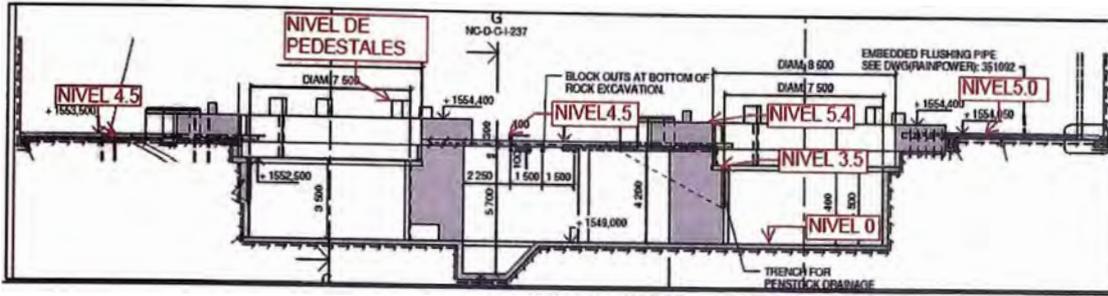


Figura N° 4.6.- Niveles del segundo hito

Fuente: Norconsult. (2013).

Actividades ejecutadas

- Se hizo la entrega del sistema de puesta tierra al propietario, conforme con ello se dio el visto bueno para comenzar con los trabajos de concreto.
- Debido a la sobre excavación se rellenó el sector segunda etapa hasta el nivel de excavación, luego de la fragua ingresó la grúa a la unidad 2, de esta manera solo se avanzó la unidad 1 y la zona de bombas (sector de la primera etapa), la unidad 2 quedó sin avance mientras se terminaba los trabajos hasta el nivel 3.5 en la unidad 1 y nivel 4.2 en la zona de bombas (sector de la primera etapa), la grúa de 40tn y 5tn estuvieron permanentes hasta finalizar los trabajos mencionados.
- Se vació concreto en el sector primera etapa hasta el nivel 0, se rellenó de concreto la sobre excavación.
- Se continuó con los muros circular, separador y de cierre de la unidad 1 como un solo bloque de vaciado (Ver Figura N° 4.3) hasta el nivel 3.5, además se armó los muros de la zona de bombas del sector de la primera etapa, los encofrados pesados fueron trasladados con la grúa hasta ser colocados en su lugar, así como también los insertos que van embebidos en los muros.
- En la programación los muros de la zona de bombas tenía un plazo de 6 días para culminarlos en un solo vaciado (ver Figura N° 4.3), en la ejecución real esta zona se subdividió en 5 muros que se fueron vaciando en fechas diferentes, 3 de ellos tuvo una duración de 15 días, hasta aquí se construyó con la grúa de 40tn, los 2 restantes se construyeron luego de retirar la grúa en 14 días, se hizo trabajos en paralelo con la unidad 2, en total tomo 29 días levantar los muros hasta el nivel 4.2 en la zona de bombas.

- La unidad 1 se continuó hasta alcanzar el nivel 5.4, en paralelo se inició la construcción del sector segunda etapa retirando la grúa de 40tn, que se mantuvo permanente durante 15 días, se construyó la losa hasta el nivel 0 en la unidad 2.
- Se llegó al nivel de los pedestales de los distribuidores en la unidad 1, nivel final para alcanzar el segundo hito, según la programación tenía una duración de 3 días, se ejecutó en 19 días, la razón por la que se alargó demasiado esta actividad fue el corte de unas barras de acero que no debían cortarse, mientras se buscó la solución más adecuada y tras soluciones fallidas transcurrió 19 días. Junto con esta actividad se realizó en paralelo los trabajos en la unidad 2 del sector segunda etapa.
- En el sector de la segunda etapa se construyó en la zona de bombas los 2 muros faltantes hasta el nivel 4.2 y la unidad 2 hasta el nivel 3.5.
- Seguidamente se alcanzó el nivel 5.4 en la unidad 2, sector segunda etapa, en paralelo se armó el fondo de la losa y el armado de acero en la zona de bombas para alcanzar el nivel 4.5.
- Por último se llegó al nivel de los pedestales de los distribuidores en la unidad 2, dos días después se hace el vaciado en la losa de la zona de bombas y 3 días más tarde se termina los pedestales de la unidad 1, dando como resultado la entrega del segundo hito en el plazo fijado (53 días) con la conformidad del propietario y del contratista electromecánico.

Actividades no previstas - Restricciones

- Es conocido que las sobre excavaciones se dan en una excavación, en la construcción de la casa de máquinas se consideró como un trabajo no previsto debido a que la sobre excavación fue excesiva, inconscientemente se dio más horas de trabajo a las estructuras cimentadas en roca, se aumentó los materiales como acero, encofrado y concreto, aumentando los costos. Éste trabajo adicional se hizo en todo el nivel 0 por ser concreto contra roca así como en las paredes y losas con junta en roca.
- La reparación de puente grúa, debido a la convergencia, estuvo a cargo del contratista civil, se desvió recursos para la culminación de este trabajo habiendo de por medio el logro del segundo hito, este trabajo se cobró como un adicional mediante partes diarios y duro 35 días dentro del segundo hito.

- En ambas unidades en el nivel 0 y en parte de los muros al nivel 3.5 se presentó un trabajo que no estaba previsto para el contratista civil, fue la instalación de placas y tuberías de acero muy pesadas que iban embebidas en la losa y muros, este trabajo le correspondía al contratista electromecánico, como se especifica en planos, sin embargo solo entregó las piezas en su almacén mas no las trasladó ni instaló, el contratista civil realizó estos trabajos desviando los recursos de otros trabajos e incluso el contratista electromecánico demoró en la entrega de una pieza, sin ésta no se podía hacer el vaciado. El contratista civil cobró como un trabajo adicional según reportes diarios.
- El traslado del puente grúa no estaba previsto, éste se debía mover el lado de las placas que habían sido removidas y colocadas de nuevo para continuar con las placas faltantes, al trasladar el puente grúa, corría el riesgo de caída de elementos a la zona de trabajo, por ello se retiró al personal hasta que las maniobras terminen, este trabajo duró un turno aproximadamente.
- Para la construcción de los muros en la zona de bombas, los trabajos de colocación de acero y encofrado no podían llevarse a cabo en paralelo ya que para mover los encofrados el radio de alcance de la grúa llegaba sobre los trabajadores que realizaban la colocación de acero, por normativas de seguridad no puede haber movimiento de material con grúa si hay gente debajo de ella.
- Mientras se construía la casa de máquinas también se excavaba el túnel de conducción que conecta con la casa de máquinas, el área de seguridad instruyó cada vez que hubiese disparo en el túnel el personal debía salir a la superficie. Por algunos días se mantuvo esta instrucción pero se notó que esta medida era muy exagerada, se cambió la salida a la superficie por reunirse y refugiarse en el túnel de descarga, no hubo mejoras, persistían los tiempos muertos (aprox. 1.5 horas) hasta reanudar las labores. Además pasado un tiempo luego del disparo, el polvo llegaba a la casa de máquinas, si los niveles de polvo sobrepasaban los límites (35 ppm según contrato) se debía retirar a los trabajadores a la superficie.
- La descoordinación entre las áreas generó atrasos ya que se manejaban diferentes horarios de trabajo.

4.1.5 Análisis comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Segundo hito

A continuación se muestra un cuadro resumen con la duración de las actividades programadas y su la duración real, las actividades no previstas con su duración real y las actividades sobre las que tuvo impacto dichas actividades no previstas y restricciones

Cuadro N° 4.1.- Cuadro comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Segundo hito

Hito	Código simple	Actividades	Duración (días)		Actividades no previstas - Restricciones	Influye en (código simple de actividad):	Duración (días)
			Program. (puente grúa operando)	Ejecutado			
Segundo Hito - Duración total Programada 53 días (considerando inoperatividad del puente grúa)	1	Trabajos preliminares	6	7	_Reparación del puente grúa (picado del grout, grouting, limpieza)	1,2,3,...,13,14,15	26
		Unidad 1 - Turbina	36	53	_Sobre excavacion (zonas contra roca)	1,2,3,4,5,8,9,10,13,14,15	-
	2	Losa inferior - nivel 0	7	5	_Instalación de insertos metálicos del contratista electromecánico	2,4,8,10	9
	3	Muro Circular - nivel 3.5	7	9	_Traslado del puente grúa	3,4,5	1
	4	Muro separador - nivel 3.5	11		_No trabajos (encofrado, acero) mientras la grúa de 40 tn izaba.	14	7
	5	Muro se cierre - nivel 3.6	7		_Disparos en tuneles que conectan con la casa de máquinas	1,2,3,...,13,14,15	7
	6	Losa superior - Nivel 5.4	10	12	_Descordinacion de áreas	-	-
	7	Pedestales para el distribuidor	4	19			
		Unidad 2 - Turbina	34	22			
	8	Losa inferior - nivel 0	7	4			
	9	Muro Circular - nivel 3.5	11	8			
	10	Muro separador - nivel 3.5	11				
	11	Losa superior - Nivel 5.4	9	7			
	12	Pedestales para el distribuidor	4	2			
		Zona de bombas	23	29			
13	Losa inferior - nivel 0	9	-				
14	Muros - Nivel 4.2	8	21				
15	Losa superior - Nivel 4.5	8	8				

Nota: Para mejor entendimiento leer el informe completo, además ver Anexo 1-Planos y Anexo 2-Programas

Del cuadro anterior se observa lo siguiente:

- La unidad 1 tiene 17 días más de duración con respecto a lo programado, la mayoría de las actividades mantiene la duración programada con una ligera diferencia, sin embargo en la actividad "7" hay un retraso de 15 días siendo una actividad relativamente simple, además de las actividades no prevista y restricciones que se mencionan en el cuadro hubo un acontecimiento que se mencionó en el ítem "actividades ejecutadas" el cual fue cortar unos aceros que no debían ser cortados, encontrar la solución y ejecutarla tomo varios días.
- La unidad 2 se hizo en menos tiempo, 12 días de diferencia a favor, esto se debió a que la unidad 2 se seccionó en 2 etapas (ver Figura N° 4.3), la tercera etapa se construyó después de culminar el segundo hito, tuvo una duración de 10 días, si se hubiese realizado la segunda y tercera etapa juntas la duración seria 32 días. Se observa que las actividades tienen una duración similar salvo el conjunto de muros, para construir los muros se obviaron las juntas haciendo éstos en un solo vaciado.
- En la zona de bombas, para la construcción de los muros la diferencia es de 13 días en contra, esto debido a la nueva junta que se creó por falta del puente grúa como ya se mencionó en el ítem "actividades ejecutadas".

Como se observa en la programación (Anexo 2), las 2 unidades debieron ejecutarse en paralelo, sin embargo la unidad 2 se ejecutó con 19 días de desfase por la inoperatividad del puente grúa, se acordó adicionar 11 días más al plazo de ejecución del segundo hito, en total 53 días de plazo. La construcción hasta alcanzar el segundo hito tuvo una duración de 53 días, con todas las actividades no previstas y restricciones en contra se logró culminar, por ello se concluye que las actividades tenían un colchón para amortiguar imprevistos, sin embargo se perdió un bono importante por la ampliación de plazo.

4.2 ANÁLISIS DEL TERCER HITO - HASTA EL NIVEL DE TURBINAS

El alcance del presente informe abarca hasta el nivel de turbinas (nivel 9.0) el cual forma parte del tercer hito (Ver Figura N° 4.2). Se decidió culminar hasta este nivel debido a que es una parte no convencional de la casa de máquinas en caverna, a partir de aquí hay lecciones aprendidas, las restricciones son menores y la producción se estabiliza.

4.2.1 Condiciones del tercer hito

El panorama luego de la culminación del segundo hito es el siguiente:

- Trabajos pendientes en el sector tercera etapa.
- El contratista electromecánico tiene las unidades 1 y 2 y la zona de bombas bajo su responsabilidad
- Se abren nuevos frentes de trabajo lado norte, lado sur y la zona entre unidades (Ver Figura N° 4.7).
- A mediados de Septiembre se lanza un programa operacional con las actividades del tercer hito, según este nuevo programa se debía culminar hasta el nivel de turbinas a mediados de diciembre, es decir 5 meses después de alcanzar el segundo hito.

La Figura N° 4.7 muestra la extensión y los nombres que se ha asignado a los nuevos frentes de trabajo que se abrieron luego de terminar el segundo hito.

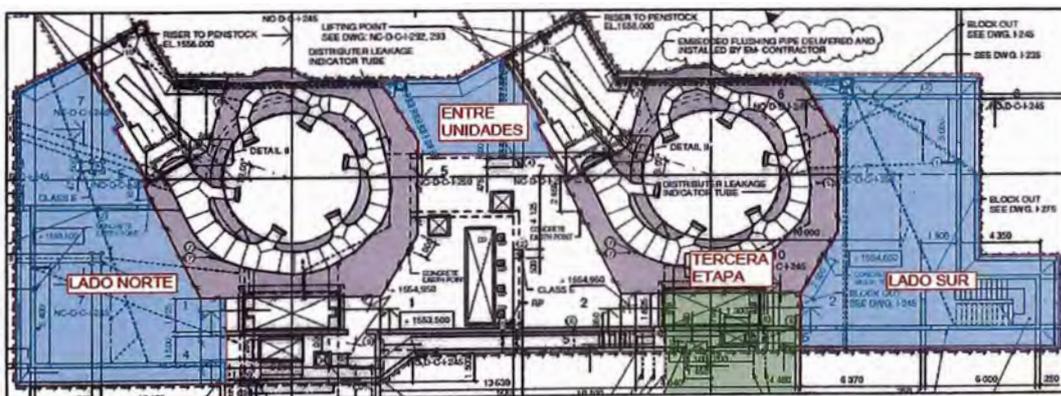


Figura N° 4.7.- Zonas de avance permitidas en planta - Nivel 5.50

Fuente: Norconsult. (2013).

El contratista civil inicia el tercer hito con el sector tercera etapa, con la losa del lado norte (nivel 4.5) y la losa del lado sur (nivel 5.05). Según las condiciones en

los acuerdos de interfaces con el contratista electromecánico y los acuerdos de procesos constructivos, el contratista civil solo podía trabajar el lado norte y lado sur (VerFigura N° 4.8), mientras el contratista electromecánico ejecutaba las labores de izado y montaje de los distribuidores hasta llegar al nivel de turbinas (nivel 9.0).

La Figura N° 4.8 muestra en corte longitudinal, las zonas en las que el contratista civil podía trabajar, además del segundo hito de color mostaza finalizado.

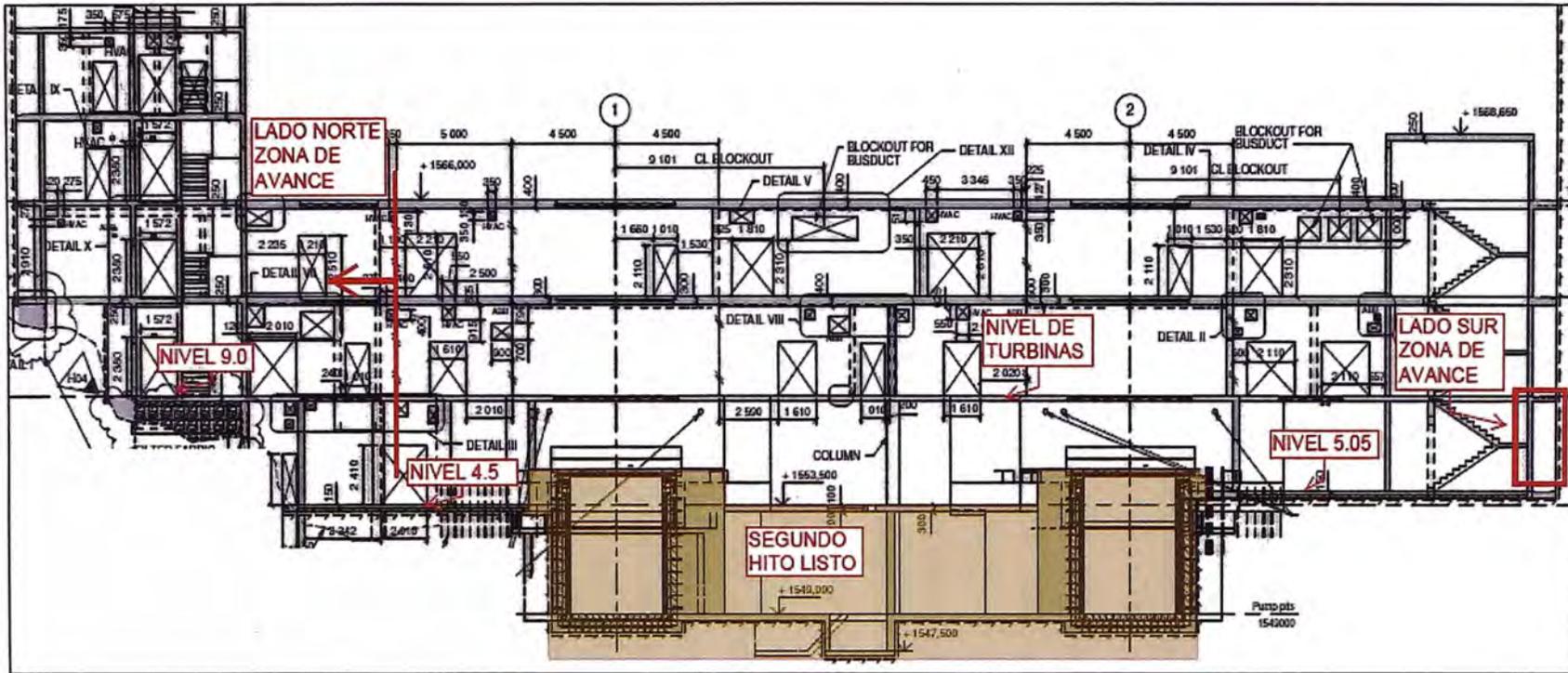


Figura N° 4.8.- Zonas de avance permitidas en corte

Fuente: Norconsult. (2013).

4.2.2 Circunstancias del Contratista electromecánico

Las condiciones de trabajo para el contratista electromecánico fueron las siguientes:

- Ellos tienen una duración contractual de 60 días para entregar ambas unidades hasta el nivel de turbinas, la entrega consiste en la plataforma de trabajo, la carcasa y los distribuidores para ambas unidades.
- El plazo inicia con la entrega del área por parte de contratista civil y con la entrega del puente grúa con ambos ganchos, principal y secundario, operativos. Sin embargo se hizo la entrega del área a mediados de julio pero el puente grúa aún no estaba operativo, no contaba con ningún gancho operativo.
- A mediados de septiembre se hace la entrega del puente grúa, 55 días después de haber sido entregada el área, solo con el gancho principal operativo.
- El contratista electromecánico avanzó con el uso del gancho principal el cual tiene los movimientos muy lentos que alargan las horas de montaje, el gancho secundario estuvo operativo a inicios de octubre luego de 80 días de haber sido entregada el área al electromecánico.
- Se hace la entrega de la unidad 1 a inicios de noviembre, 11 días después del plazo para la entrega de la unidad 1. Se hace la entrega de la unidad 2 a quincenas de noviembre, 12 días antes del plazo de entrega de la unidad 2 que estaba programada para fines de noviembre. En total fueron 62 días los que tomó el montaje de ambas unidades a partir que el gancho principal se encontraba operativo.

4.2.3 Actividades programadas

A mediados de septiembre se emite un cronograma operacional actualizado que contiene la programación de todo lo faltante de la casa de máquinas, esta vez la unidad 1 se entrega primero y luego la unidad 2, no hay trabajos en paralelo ya que el contratista electromecánico entregaría en ese orden las unidades, (Ver anexo 2 – Programas).

Según la programación la entrega de la unidad 1 al contratista civil se da a fines de octubre, a partir de ahí se tiene 20 días de plazo para llegar al nivel 9.0, la

unidad 2 se entrega a fines de noviembre y también cuenta con 20 días de plazo, en total cuentan con 50 días para llegar al nivel 9.0.

Las actividades para alcanzar el nivel de turbinas, nivel 9, tiene las siguientes duraciones según la programación, para un mejor reconocimiento, ver Figura N° 4.9, Figura N° 4.10 y Anexo 2:

<u>Unidades 1 y 2</u>	<i>Unidad 1</i>	<i>Unidad 2</i>
Capa 1	6 días	6 días
Capa 2	8 días	8 días
Capa 3	6 días	6 días

La Figura N° 4.9 muestra los frentes de trabajo libres para ser ejecutados por el contratista civil, muestra delimitada la unidad 1 de color celeste, la unidad 2 de color mostaza y el lado norte encerrado en una nube. La Figura N° 4.10 muestra las capas de vaciado diferenciadas como capa 1 color verde, capa 2 color mostaza y capa 3 color azul, que se iban a ejecutar de acuerdo al proceso constructivo según lo programado.

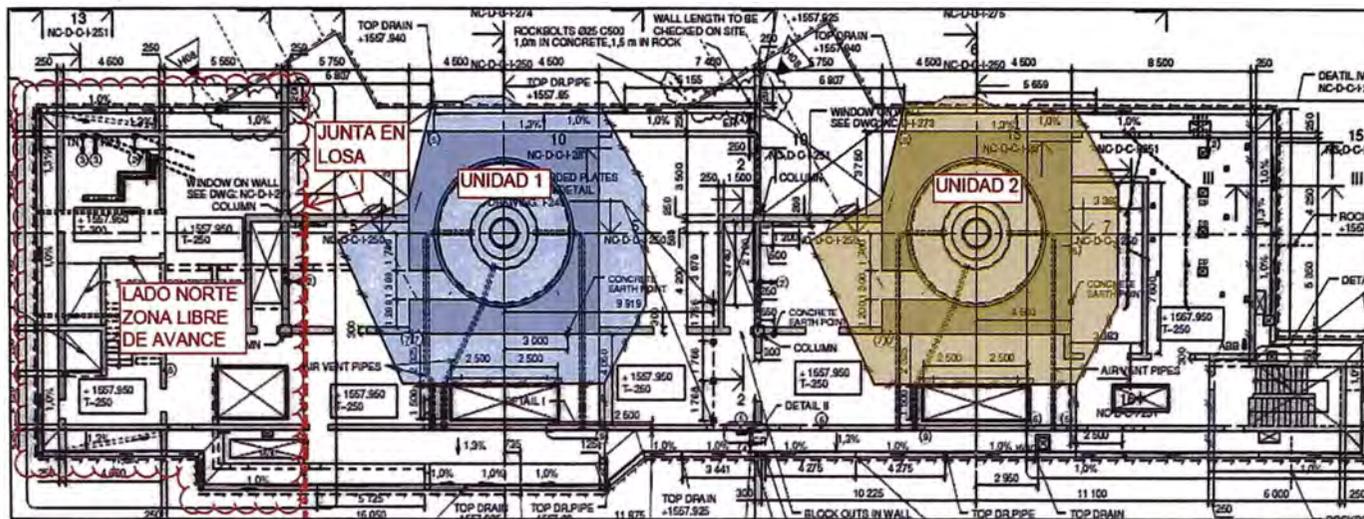


Figura N° 4.9.- Cortes de vaciado de concreto – planta hasta nivel final de turbinas, nivel 9.0

Fuente: Norconsult. (2013).

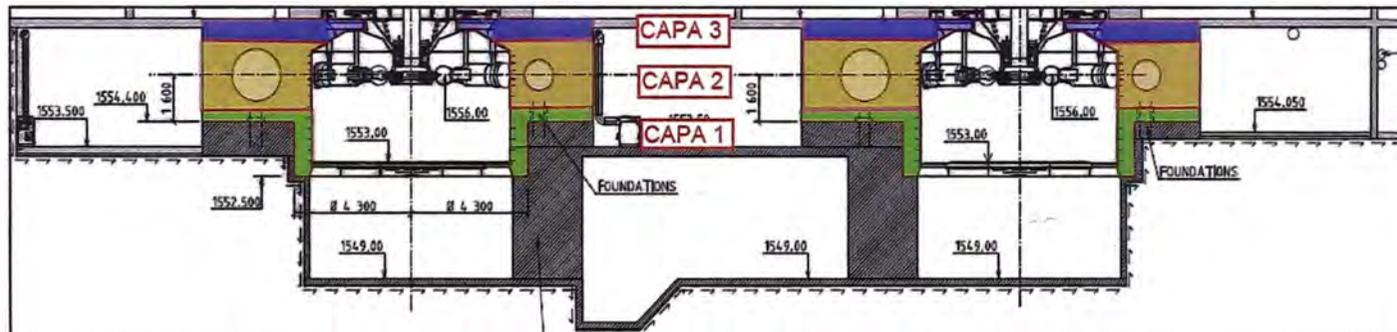


Figura N° 4.10.- Capas de vaciados – corte hasta nivel de turbinas, nivel 9.0

Fuente: Norconsult. (2013).

4.2.4 Ejecución real de las actividades programadas

Mientras el contratista electromecánico iniciaba con los trabajos de montaje de las plataformas en ambas unidades, el contratista civil continuaba con los trabajos del sector tercera etapa y con las losas del lado norte nivel 4.5 y lado sur nivel 5.05 (Ver Figura N° 4.7 y Figura N° 4.8), los trabajos de concreto no se podían realizar en las unidades 1 y 2 (Ver Figura N° 4.9), solo era posible en las zonas demarcadas en la Figura N° 4.8, ya que la zona debía quedar libre para el acceso de los componentes de la turbina para luego quedar embebidos en concreto.

Actividades antes de la entrega de las unidades 1 y 2 del contratista electromecánico al contratista civil fueron:

- La continuación de la unidad 2 en la tercera etapa hasta el nivel 5.05 tuvo una duración de 10 días hasta fines de julio.
- En paralelo a la continuación de la unidad 2, el área de trabajo se amplió en el nivel 4.5 en el lado norte, el trabajo consistía en rellenar la zona con concreto debido a la sobre excavación, construir canaletas que bordean las paredes del cerro para captar las aguas infiltradas, rellenar con gravilla donde previo se instalaría tuberías de drenaje, seguido de la losa para alcanzar el nivel 4.5 por ultimo los muros hasta el nivel 8.75, todo este trabajo tuvo una duración de 46 días desde inicios de julio hasta mediados de agosto.
- Del mismo modo en el lado sur se extendía el área de trabajo en el nivel 5.05 con la culminación de la tercera etapa, los mismos trabajos del lado norte se hicieron en el lado sur alcanzando el mismo nivel 8.75, éste tuvo una duración de 31 días desde fines de julio hasta fines de agosto.
- Luego de terminar los muros hasta el nivel 8.75 en el lado norte, se extiende el área de trabajo en el nivel 9.0, este es el nivel final de turbinas, el trabajo consistió en construir canaletas que bordean las paredes del cerro para captar las aguas infiltradas, rellenar con gravilla donde previamente se instalaría tuberías de drenaje seguido de la losa para alcanzar el nivel 9.0, esta losa fue vaciada hasta la junta que manda el plano para no obstruir los trabajos de izaje de los componentes de la turbina (Ver Figura N° 4.8 y Figura N° 4.9); todo este trabajo tuvo una duración de 35 días desde mediados de agosto hasta fines de septiembre.

- En el lado sur nivel 9, solo se podía avanzar la losa hasta los muros por instrucción del propietario (Ver Figura N° 4.8), solo se vació la losa que bordea las paredes del cerro, tuvo una duración de 21 días desde fines de agosto hasta mediados de septiembre.

Hasta aquí se llega al nivel de turbinas 9.0 en el lado sur y en el lado norte luego de 63 días de haber sido entregado el segundo hito. En las unidades 1 y 2 se instalaban las carcasas (housing) y los distribuidores, por tanto el contratista civil no podía trabajar aun a esta zona, mientras se continuaba avanzando en el lado norte y en la tubería forzada.

A inicios de noviembre se entregó la unidad 1 al contratista civil con 11 días de atraso por parte de contratista electromecánico, la unidad 2 se entregó a mediados de noviembre con 12 días de adelanto respecto de la programación del electromecánico, a continuación se describen las actividades realizadas:

- El vaciado ya no se realiza en 3 capas como se había programado, se hace el armado de acero en toda la unidad 1 hasta el nivel 9.0 de manera tal que la fuerza de empuje del concreto al momento del vaciado no mueva los distribuidores, se vació la unidad 1 en un solo bloque. Esta actividad duró 11 días terminado a mediados de noviembre con 2 días de atraso.
- De la misma manera para la unidad 2 se hace el armado de acero, encofrado y vaciado de concreto en una sola etapa llegando al nivel 9.0 a fines de noviembre con una duración de 14 días, según lo programado debió terminar a mediados de diciembre con lo cual se tuvo un adelanto de 14 días.

Con el desencofrado de la unidad 2 se concluye el comparativo de la programación y la ejecución real de casa de máquinas en caverna de la central hidroeléctrica Liple dentro de los plazos hasta el nivel de turbinas 9.0.

Actividades no previstas - Restricciones

- Para construir la losa del lado norte hasta el nivel 4.5 lo complicado fue tener que rellenar con gravilla sin la ayuda del puente grúa, se tuvo que armar un sistema de vaciado mediante chute para luego esparcir la gravilla en toda el área de la losa, este trabajo no estaba contemplado en el cronograma, se tuvo que desviar recursos, tomó más tiempo y esfuerzo hacerlo sin el puente grúa.

- En esta misma zona se debía colocar tuberías de drenaje para captar el agua proveniente de las rocas y el agua proveniente de la operación de la casa de máquinas antes del vaciado de la losa, no se tuvo en cuenta que los accesorios no habían en el mercado local por tanto debían de importarse, la zona estaba lista sin embargo no se contaba con los accesorios esto conllevó a días de atraso y concentrar esfuerzos no merecidos en la solución de este inconveniente, luego de la búsqueda de los accesorios y agitadas soluciones para el cambio de la distribución de las tuberías se pudo completar este trabajo.
- En el lado sur para hacer la losa hasta el nivel 5.05 se debía rellenar con gravilla para el drenaje, sin la ayuda del puente grúa se armó un sistema de vaciado mediante chute aún más complicado que el lado norte, actividad que no estaba prevista en la programación.
- Las observaciones que debían ser levantadas en la plataforma cantiléver (zona donde se coloca los elementos para ser levantados por el puente grúa), trajo como consecuencia restricciones para circular debajo del cantiléver, además los días que se hacían las pruebas de carga también restringió el paso debajo de dicha zona.
- La reparación del puente grúa por la proyección de rocas en las voladuras, trajo trabajos adicionales, tanto en la puesta de operación como en la reparación de los ganchos, se tuvo que armar un sistema de andamios sobre el cantiléver de 7m de altura para poder llegar al gancho principal, teniendo que desviar recursos para dichos trabajos.
- Cada vez que se hacían pruebas en el puente grúa tales como pruebas en los stoppers, pruebas del sistema eléctrico, prueba de carga, se retiraba el personal hasta finalizar las pruebas por riesgo de caída.
- La falta de una tubería que debió ser entregada por el contratista electromecánico trajo atrasos y adicionales ya que instalaron la tubería 5 días después de su requerimiento y cambiaron el diseño por ello el contratista civil tuvo que modificar el armado del acero para que la tubería pueda quedar embebida en la losa.
- La falta de un buen sistema de ventilación produjo el aumento de la temperatura, redujo el rendimiento del personal, se incrementó los costos por la compra de cajas de agua adicionales y se redujeron los tiempos productivos ya que el personal debía beber agua más a menudo.

- En las canaletas que van bordeando las paredes de roca se hizo un trabajo adicional que consistió en colocar cáncamos para que pueda haber una junta más fuerte y segura entre los muros de concreto que nacen de las canaletas y la roca, este acero no estaba en los planos por tanto se cobró mediante partes diarios.
- Llegando al nivel 9.0 del lado norte se percataron que debido a la sobre excavación una parte de la roca que serviría de apoyo de la losa donde nacía un muro no existía, se tuvo que hacer un rediseño que tomó aproximadamente 15 días idearlo y ejecutarlo.

4.2.5 Análisis comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Tercer hito

A continuación se muestra un cuadro resumen con la duración de las actividades programadas y su la duración real, las actividades no previstas con su duración real y las actividades sobre las que tuvo impacto dicha actividades no previstas y restricciones

Cuadro N° 4.2.- Cuadro comparativo de las actividades programadas y ejecución real – Tercer hito

Hito	Código simple	Actividades	Duración (días)		Actividades no previstas - Restricciones	Influye en (código simple de actividad)	Duración (días)
			Program. (puente grúa operando)	Ejecutado			
Tercer Hito - Duración total Programada hasta nivel de turbinas nivel 9.0 148 días (considerando inoperatividad del puente grúa)		<u>Lado norte y sur</u>	37	63	_Reparación del puente grúa (picado del grout, grouting, limpieza)	16	4
	16	Losa hasta nivel 4.5 y 5.05	5	31	_Continuacion de la unidad 2 hasta nivel 5.4	16	10
	17	Muros hasta nivel 8.75	18	17	_Relleno de gravilla el lado norte, sur y entre unidades	16	10
	18	Losa hasta nivel 9	14	37	_Accesorios de PVC a ser importados	16	3
		<u>Unidad 1 - turbina</u>	20	11	_Trabajos en el cantilever	16	1
	19	Muro de turbina - capa 1	6	11	_Armado de andamio de 7m de altura en zona de Cantilever	16,17	8
	20	Muro de turbina - capa 2	8		_Pruebas al Puente grúa	17,18	4
	21	Muro de turbina - capa 3 (nivel 9.0)	6		_Atraso en la entrega de tubería metálica del electromecánico	16	5
		<u>Unidad 2 - turbina</u>	20	17	_Sistema de ventilación no adecuado	17,18,19,20,21	-
	22	Muro de turbina - capa 1	6	17	_Colocación de cáncamos para junta concreto- roca	16,17	4
	23	Muro de turbina - capa 2	8		_Debido a sobre excavacion cambio de diseño y ejecución de éste	18	15
	24	Muro de turbina - capa 3 (nivel 9.0)	6		_Observaciones al contratista electromecánico	19,20,21,22,23,24	8

Nota: Para mejor entendimiento leer el informe completo, además ver Anexo 1-Planos y Anexo 2-Programas

Del cuadro anterior se observa lo siguiente:

- En la actividad de código 16 existe una diferencia de 26 días respecto a lo programado, esto se debe a las actividades no previstas que se enumeran en el cuadro, que en su mayoría parten de la falta de puente grúa.
- La actividad 18 tiene un atraso de 23 días, la sobre excavación y la colocación de cáncamos fueron las actividades que tuvieron mayor impacto para que ocurriera el atraso, se sugiere tener mano de obra especializada en excavación, que se tome en cuenta la importancia de colocar cáncamos para la fijación de muro de concreto a la roca plasmándolos en los planos de construcción.
- Tanto para la turbina 1 como para la turbina 2 se acordó omitir las juntas de construcción y realizar un solo vaciado, por ello la diferencia de 9 días a favor en la unidad 1. La unidad 2 tomó más tiempo, siendo similar a la unidad 1, debido a que el contratista electromecánico no liberaba el área para poder vaciar.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La protección de las estructuras instaladas y construidas mientras exista trabajos de voladora evita daños a éstas y su posterior reparación. Proteger con algún material resistente de manera directa al puente grúa u otras estructuras, cubrir con llantas de caucho sujetadas por malla eslabonada o controlando la voladura usando placas de metal con sacos de arena encima evita daños a las estructuras. Proteger del polvo la zona de mando del puente grúa y tableros eléctricos hasta culminar la fase de excavación evita daños a las estructuras, una solución rápida y útil es la protección con plástico tipo embalaje.
- Los vaciados contra roca sin acero de anclaje entre la roca y el concreto (cáncamos) no garantiza una adecuada fijación con el macizo rocoso, lo que redundará en posteriores reparaciones y sobrecostos.
- Se ha encontrado que los rendimientos de vaciado de concreto, colocación de encofrado y acero están entre 60 – 70% del rendimiento en obras de superficie, debido al calor, polvo, gases y espacio reducido.
- Un sistema de ventilación adecuado y bien planificado evita paradas de labores cuando se trabaja en paralelo las excavaciones con obras civiles. Si los niveles de polvo pasan los límites (máximo 35ppm) se debe retirar el personal a la superficie generando pérdidas de tiempo y dinero. Otro motivo para tener una ventilación adecuada es el calor que hace en las cavernas, si la zona no está bien ventilada el personal baja considerablemente su rendimiento, se consume cantidades grandes de agua y se debe retirar al personal cuando la temperatura pasa los límites (máximo 28 °C).
- En el capítulo 3 se ha mencionado los eventos que causaron varios cambios de fecha en el inicio de la construcción de la casa de máquinas en caverna, estos eventos debieron tenerse en consideración, incluso teniendo algunas actividades incertidumbre como es el caso en excavaciones, como un programa alternativo, es decir en futuros programas deben ser incluidos como tiempos y recursos.
- Para alcanzar el segundo hito, la construcción de la unidad 1 fue la más duradera en comparación a la construcción de la unidad 2 siendo las dos

unidades similares, esto se debe a que en el comienzo de toda obra la curva de productividad inicia en un mínimo y va aumentando en la etapa de aprendizaje, aquí se va afinando la logística y la coordinación entre áreas luego la producción va aumentando, además de ello la unidad 2 fue recortada apareciendo el sector tercera etapa.

- Luego de comparar la programación con la ejecución real de la construcción de la casa de máquinas en caverna de la C.H. Liple hasta el nivel de turbinas, se concluye que la culminación de los trabajos estuvo dentro de los plazos establecidos en la programación, sin embargo hubo actividades que aparecieron en el camino que no estaban en la programación junto con restricciones no previstas que pudieron impedir el término dentro de los plazos, se pudo culminar a tiempo debido al trabajo bajo mucha presión, horas extras, cambios en el proceso constructivo y al colchón de días para cualquier evento fortuito.

5.2 RECOMENDACIONES

- A fin de evitar la ejecución de un diseño no adecuado, producto de ello rehacer el trabajo resultando atrasos y sobrecostos, no debe permitirse ser indiferente a la recomendación de otros diseños más aun si existen dudas respecto a éstos, lo más factible es llegar a un acuerdo siendo conservadores, teniendo en cuenta los riesgos, costos y beneficios. Esto va orientado a todo el proyecto pero dirigido especialmente a la actividad de colocación de pernos de anclaje recomendados en el diseño de sostenimiento de la caverna, a efectos de que estos pernos cumplan su función y se evite el proceso de convergencia.
- Incorporar en la programación la actividad “monitoreo de convergencia”, de esta manera asegurar que la convergencia en la caverna haya alcanzado su condición de equilibrio para que no interfiera en otras actividades en caso no haya alcanzado el equilibrio dañando trabajos hechos y atrasando los trabajos que continúan.
- El contrato especifica que las sobre excavaciones serán a costo y cuenta del contratista si es que estas no se deben a una condición geológica desfavorable, por lo tanto: debido a que la incertidumbre de la ubicación y por ende de las condiciones geológicas son asumidas por el contratista y

tiene como impacto el relleno de la sobre excavación con concreto estructural, entonces se debe aumentar un % de desperdicio en el precio del concreto, según lecciones aprendidas esto varía entre 20% y 50%, lo que incidiría directamente en el costo unitario por m³ de concreto.

- Otra propuesta para evitar las sobre costos por sobre excavaciones es contratar mano de obra calificada para que realice voladuras más exactas cuando se esté cerca de los últimos niveles de excavación, tomar en cuenta que el tiempo de excavación sería mayor por ser un trabajo más minucioso.
- Se considera como un buen sistema de ventilación para una casa de máquinas de dimensiones 60mx15mx30m (largo, ancho, alto), 03 mangas de 1.2 m de diámetro cuyo ventilador no esté a más de 1.2 km de distancia, ubicados de manera tal que el flujo de aire ventile toda la sección, no se recomienda colocarlos todos juntos. Además de ello tener dragones de ventilación para zonas específicas.
- Colocar tapones en los túneles adyacentes a la casa de máquinas para reducir significativamente el paso del polvo y evitar la parada de obras por incremento de ppm de polvo en el ambiente.
- Revisar si en los planos para construcción aparecen trabajos que no se encuentran dentro del presupuesto y gestionarlos de manera práctica como un adicional.

BIBLIOGRAFÍA

- BRICEÑO, Eduardo, et. al. Manual de capacitación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas. Lima, 2008.
- COMPANYS, Ramón. Planificación y rentabilidad de proyectos industriales. España, 1988.
- MCCONNELL, Steve. Rapid Development. Estados Unidos: Editorial Microsoft Press, 1996.
- MELLO JR., Antônio. A Turbina de Fluxo Cruzado (Michell - Banki) Como Opção Para Centrais Hidráulicas de Pequeno Porte. Brasil, 2000.
- NORCONSULT. Cheves 168 MW Hydropower Project Contract C - Civil works. Noruega, 2013.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía PMBOK), 4ta edición. Estados Unidos, 2008.
- ROLDAN, Jose. Energías renovables lo que hay que saber. España: Ediciones Nobel, 2012.
- SÁNCHEZ, Urbano. Máquinas hidráulicas. España: Editorial Club Universitario, 2012.

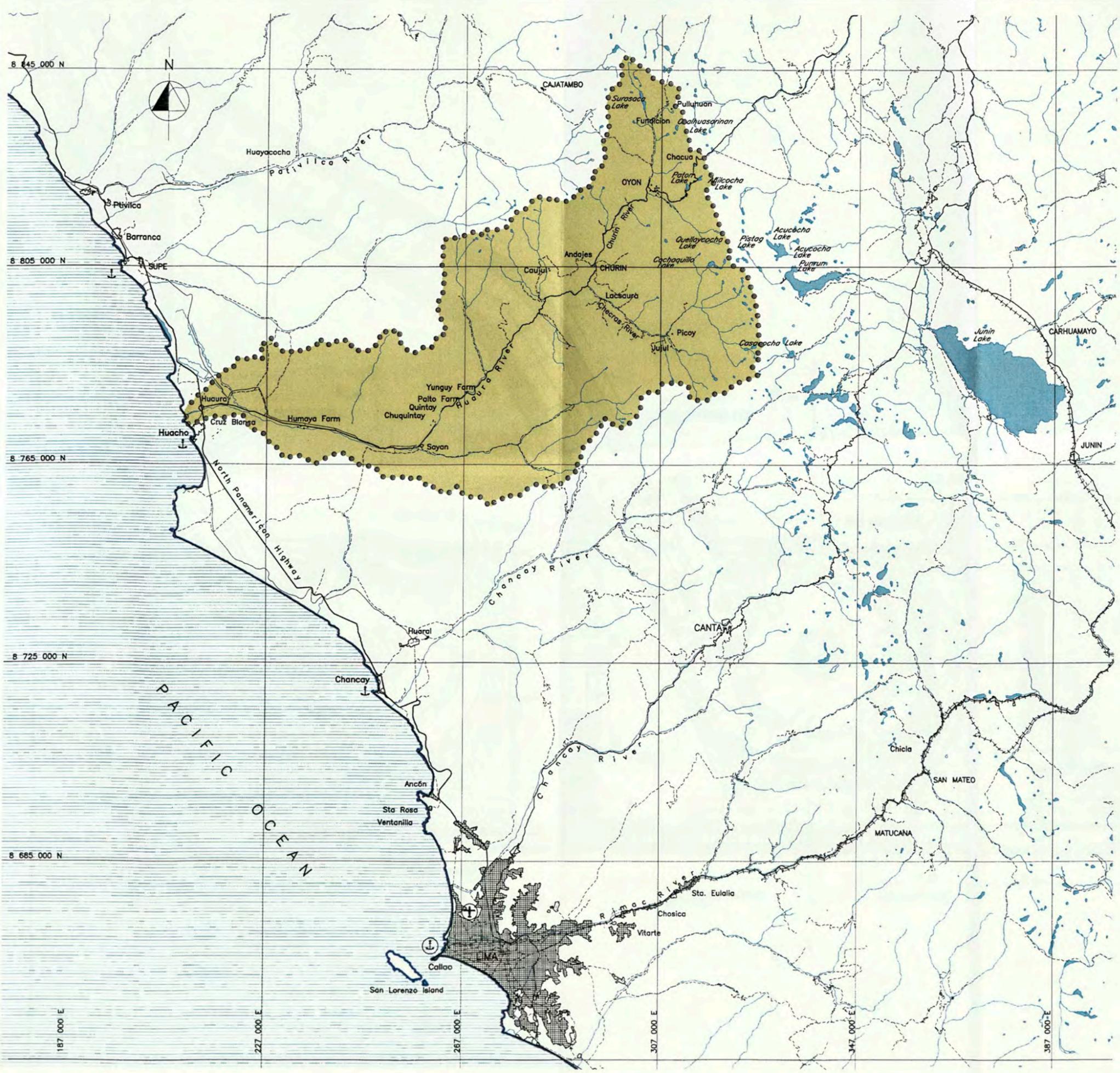
ANEXOS

Anexo 1 – Planos

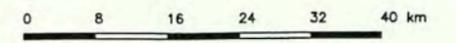
Anexo 2 – Programas

Anexo 3 – Fidic subcláusula 8.1, 8.2 y 8.3 (versión inglés)

Anexo 1 – Planos

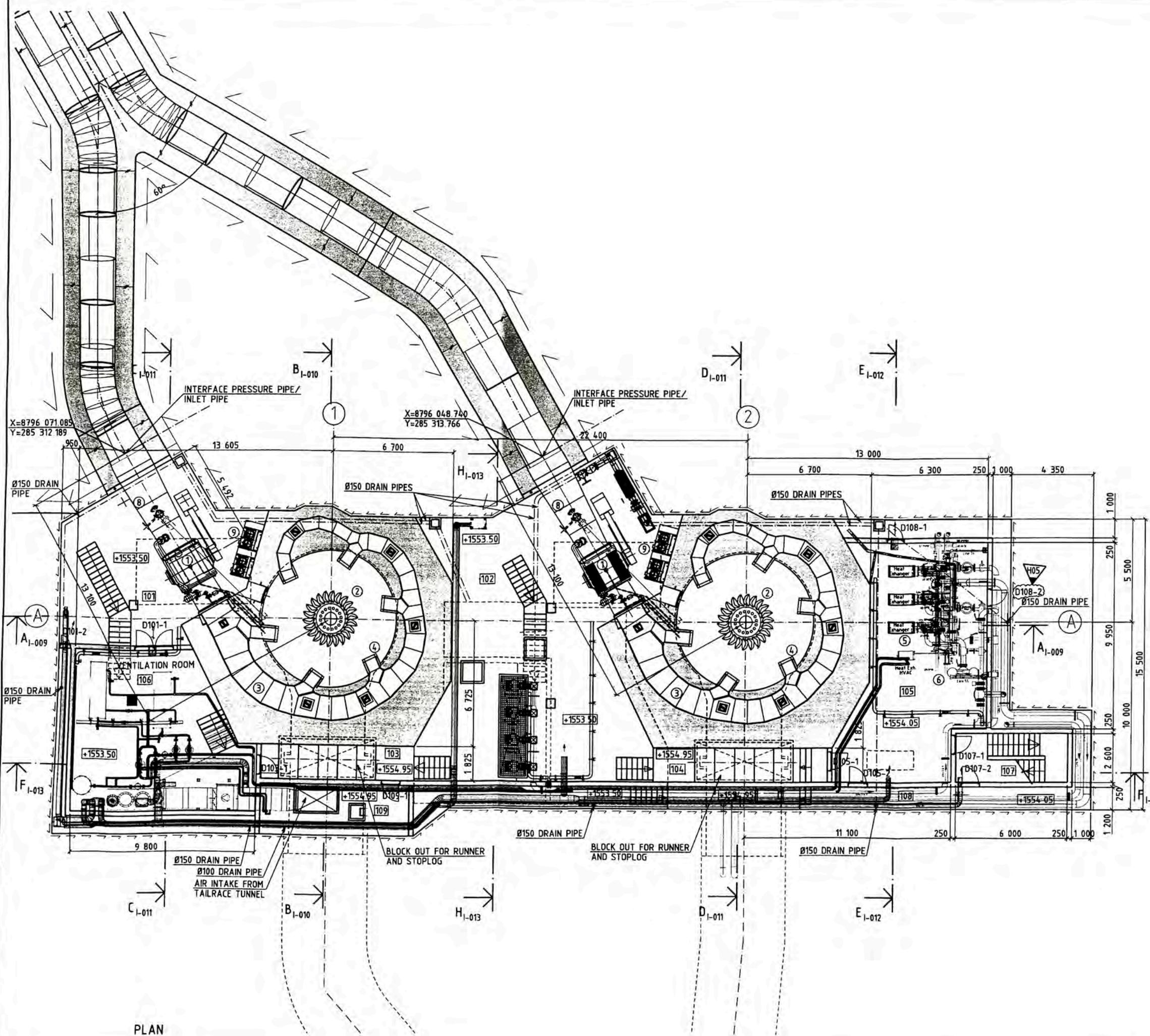


- LEGEND**
- PAVED ROAD
 - UNPAVED ROAD
 - RAILROAD
 - BASIN LIMITS
 - VILLAGES
 - MAIN HARBOR
 - SECONDARY HARBOR
 - MAIN AIRPORT

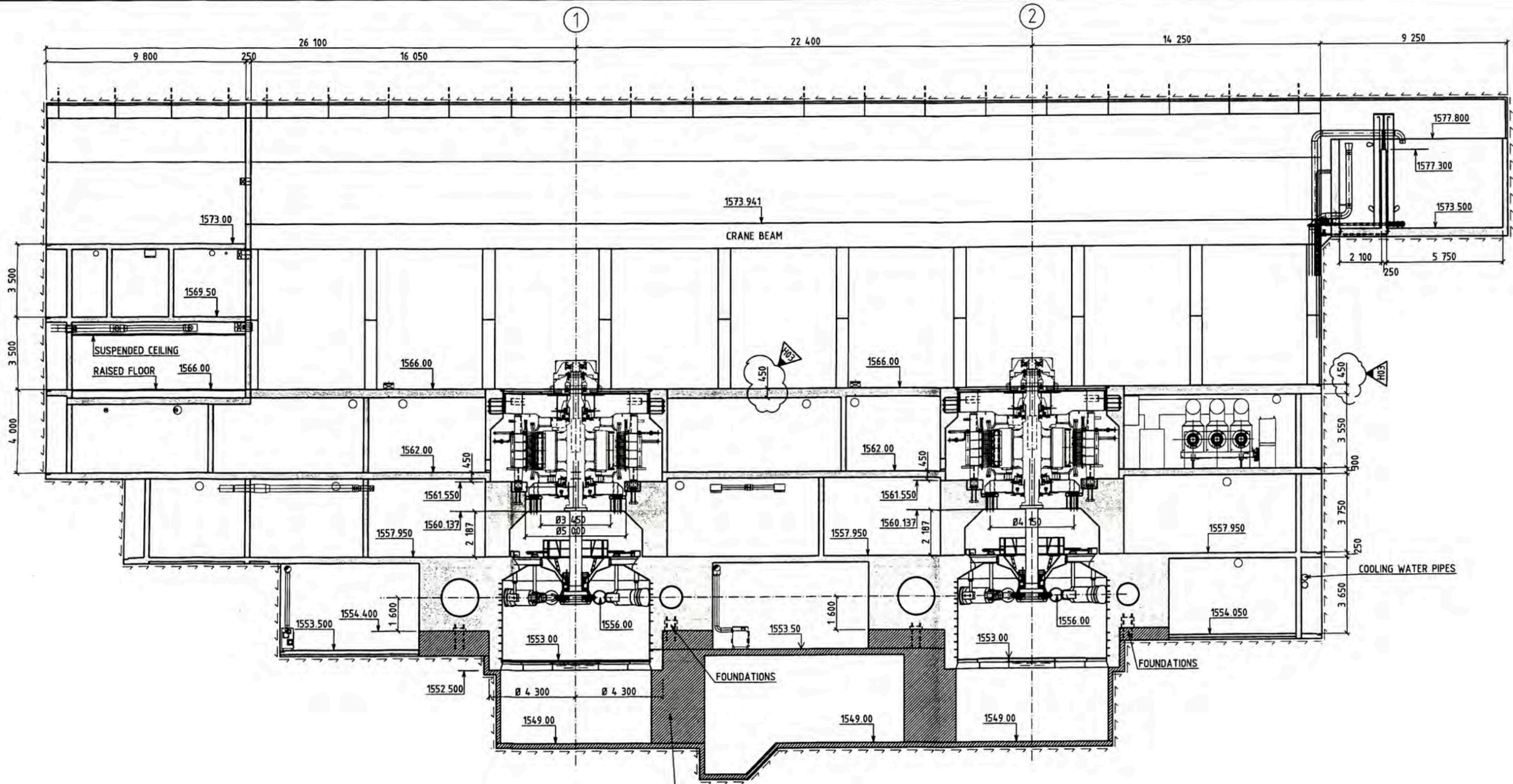


Plano N°01 Ubicación del estudio
Escala: 1/16000

REGIONAL MAP	C 001
--------------	----------

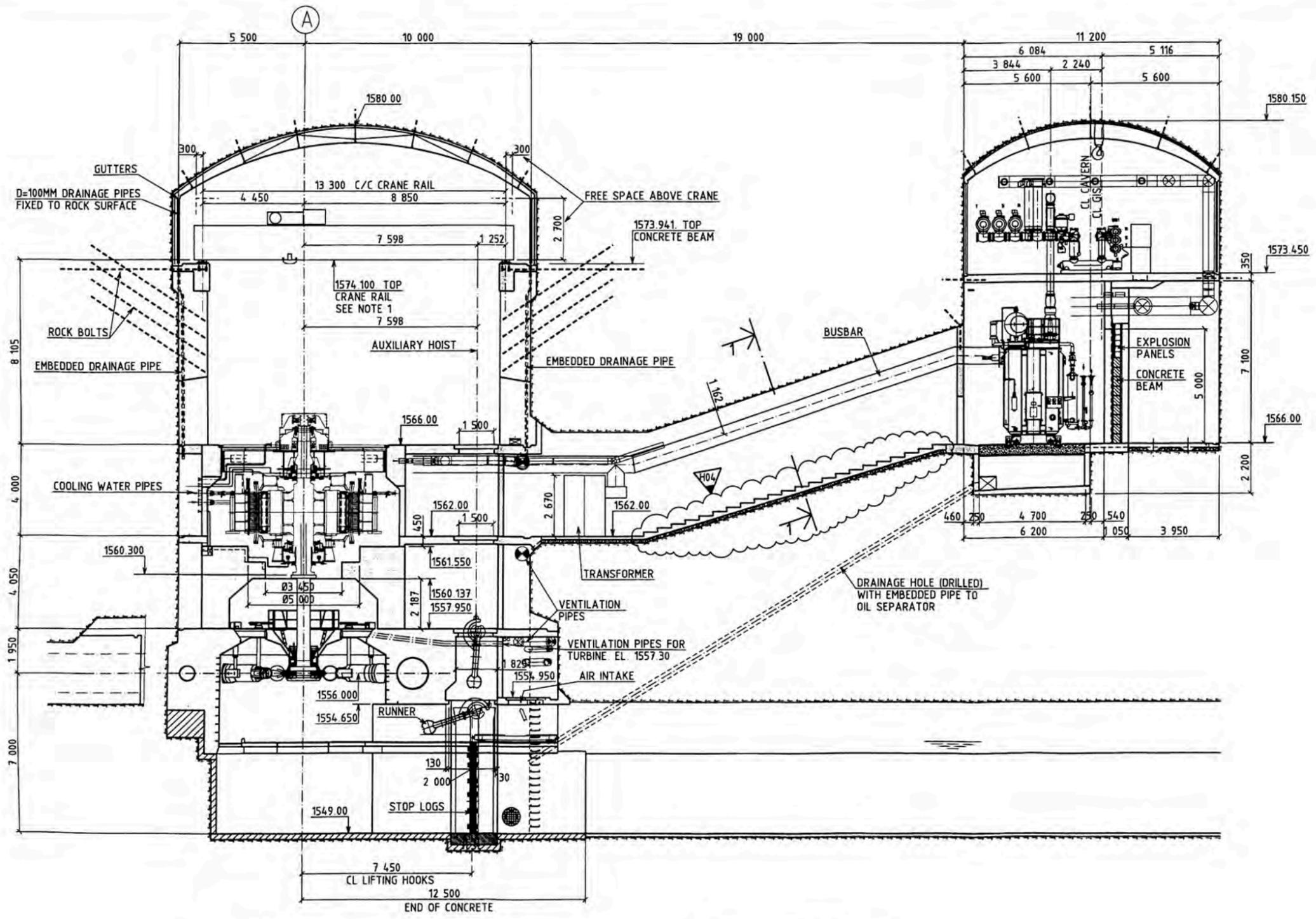


PLAN
1:100

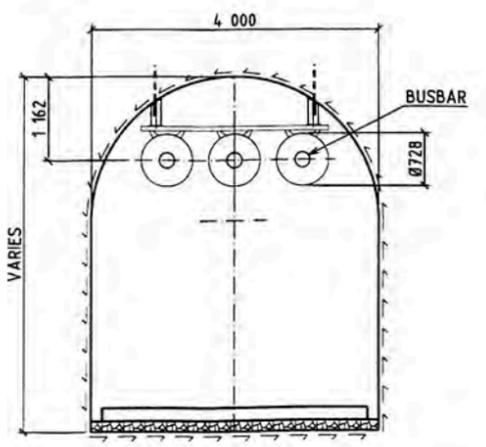


SECTION A-A
1:100

THE SHADED AREA TO BE CONCRETED BEFORE
ERECTION OF THE DISTRIBUTOR



SECTION B-B
1100



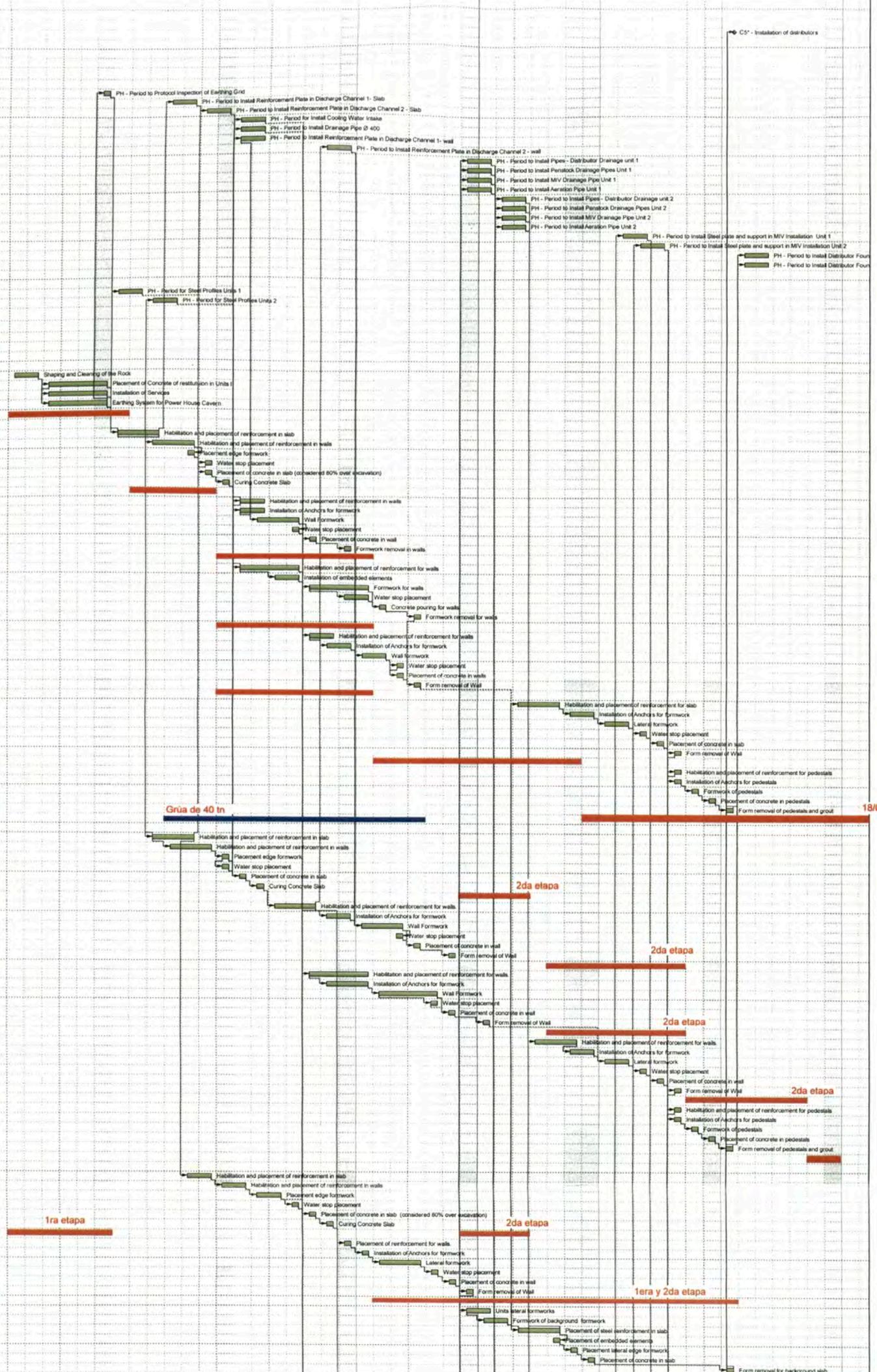
SECTION 1-1
150

Anexo 2 – Programas

Milestones - Contract C	Code	Start	End
GN M X-024	C4 - Installation of crane rails and crane	05/07/12	11-Nov-13
GN M X-025	C5 - Installation of air ducts	06/07/12	06/07/12
GN M X-026	C6 - Access 1. 63x60x40 & 80x at T. First ready for Erod. inst.	06/08/12	06/08/12
GN M X-028	C18 - Concr. acid base PH and HR Tunnel ready for install. of bulkhead	24-Aug-13	24-Aug-13
GN M X-021	C1 - Powerhouse & transformer bay ready for E&M installations	11-Oct-13	11-Oct-13
GN M X-021	C1 - Powerhouse & transformer bay ready for E&M installations	06/11/13	06/11/13

Interface Milestones	Code	Start	End
Interface Contract EM		02-Jun-13	11-Oct-13
OE.O X-063	PH - Period to Protocol Inspection of Earthing Grid	10/02-Jun-13	02-Jun-13
OE.O X-123	PH - Period to Install Reinforcement Plate in Discharge Channel 1 - Slab	20/06-Jun-13	07-Jun-13
OE.O X-133	PH - Period to Install Reinforcement Plate in Discharge Channel 2 - Slab	20/06-Jun-13	09-Jun-13
OE.O X-046	PH - Period to Install Cooling Water Intake	20/10-Jun-13	11-Jun-13
OE.O X-047	PH - Period to Install Drainage Pipe Ø 400	20/10-Jun-13	11-Jun-13
OE.O X-163	PH - Period to Install Reinforcement Plate in Discharge Channel 1 - wall	20/10-Jun-13	11-Jun-13
OE.O X-173	PH - Period to Install Reinforcement Plate in Discharge Channel 2 - wall	20/15-Jun-13	16-Jun-13
OE.O X-048	PH - Period to Install Pipes - Distributor Drainage Unit 1	20/23-Jun-13	24-Jun-13
OE.O X-050	PH - Period to Install Penstock Drainage Pipes Unit 1	20/23-Jun-13	24-Jun-13
OE.O X-073	PH - Period to Install MV Drainage Pipe Unit 1	20/23-Jun-13	24-Jun-13
OE.O X-049	PH - Period to Install Penstock Drainage Pipes Unit 2	20/23-Jun-13	24-Jun-13
OE.O X-051	PH - Period to Install Pipes - Distributor Drainage Unit 2	20/25-Jun-13	26-Jun-13
OE.O X-083	PH - Period to Install MV Drainage Pipes Unit 2	20/25-Jun-13	26-Jun-13
OE.O X-103	PH - Period to Install Aeration Pipes Unit 2	20/25-Jun-13	26-Jun-13
OE.O X-052	PH - Period to Install Steel plate and support in MV Installation Unit 1	20/03-Jul-13	03-Jul-13
OE.O X-053	PH - Period to Install Steel plate and support in MV Installation Unit 2	20/03-Jul-13	04-Jul-13
OE.O X-090	PH - Period to Install Distributor Foundation Plate Unit 1	20/09-Jul-13	10-Jul-13
OE.O X-143	PH - Period to Install Distributor Foundation Plate Unit 2	20/09-Jul-13	10-Jul-13
OE.O X-153	PH - Period to Install Flushing Pipe from filters	20/10-Oct-13	11-Oct-13
Interface Contract H		03-Jun-13	06-Jun-13
OE.O X-054	PH - Period for Steel Profiles Units 1	20/03-Jun-13	04-Jun-13
OE.O X-055	PH - Period for Steel Profiles Units 2	20/05-Jun-13	06-Jun-13

PH - POWERHOUSE and Access Tunnel	Code	Start	End
PH - Construction		28-May-13	06-Jun-13
PC - Powerhouse Cavern		28-May-13	06-Jun-13
Generator's Units Area		28-May-13	06-Jun-13
Concrete Work in Units for Installation Distributor's		28-May-13	06-Jun-13
Preparatory Works (excavación preliminar)		28-May-13	02-Jun-13
PH.C E-1 Shaping and Cleaning of the Rock (limpieza de roca)		28-May-13	29-May-13
PH.C E-1 Placement of Concrete of restitution in Units 1 (concreto de relleno en unidad 1)		30-May-13	02-Jun-13
PH.C E-1 Installation of Services (instalación de servicios)		30-May-13	02-Jun-13
PH.C E-1 Earthing System for Power House Cavern		30-May-13	02-Jun-13
Level 0 (nivel 0)		03-Jun-13	06-Jun-13
Bottom Slab - Level 1549 (losa inferior - nivel 0)		03-Jun-13	06-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in slab (acero en losa)		03-Jun-13	05-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in walls (acero en muros)		03-Jun-13	07-Jun-13
PH.C Placement edge formwork (encofrado)		10/07-Jun-13	07-Jun-13
PH.C Water stop placement		10/08-Jun-13	08-Jun-13
PH.C Placement of concrete in slab (considered 80% over excavation) (relleno de concreto)		10/06-Jun-13	08-Jun-13
PH.C Curing Concrete Slab (curado)		10/09-Jun-13	09-Jun-13
Circular Wall at Level 1552.20 (muro circular - nivel 3.5)		10-Jun-13	15-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in walls (acero en muros)		10-Jun-13	11-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		10-Jun-13	11-Jun-13
PH.C Wall Formwork (encofrado)		11-Jun-13	13-Jun-13
PH.C Water stop placement		13-Jun-13	13-Jun-13
PH.C Placement of concrete in wall (concreto)		14-Jun-13	14-Jun-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		15-Jun-13	16-Jun-13
Separation Wall with Plugra Pits - Level 1552.90 (muro separador - nivel 3.5)		10-Jun-13	20-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for walls (acero)		10-Jun-13	13-Jun-13
PH.C Installation of embedded elements (instalación de elementos embebidos)		12-Jun-13	13-Jun-13
PH.C Formwork for walls (encofrado)		14-Jun-13	17-Jun-13
PH.C Water stop placement		16-Jun-13	17-Jun-13
PH.C Concrete pouring for walls (concreto)		18-Jun-13	18-Jun-13
PH.C Formwork removal for walls (descencofrado)		20-Jun-13	20-Jun-13
Closing Walls to Colectora Level 1552.60 (muro de cierre - nivel 3.6)		14-Jun-13	20-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for walls (acero)		14-Jun-13	15-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		15-Jun-13	16-Jun-13
PH.C Wall formwork (encofrado)		17-Jun-13	18-Jun-13
PH.C Water stop placement		19-Jun-13	19-Jun-13
PH.C Placement of concrete in walls (concreto)		19-Jun-13	19-Jun-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		20-Jun-13	20-Jun-13
Upper Slab at Level 1554.40 (losa superior - nivel 5.4)		05-Jun-13	05-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for slab (acero)		05-Jun-13	28-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		29-Jun-13	30-Jun-13
PH.C Lateral formwork (encofrado)		01-Jul-13	02-Jul-13
PH.C Water stop placement		03-Jul-13	03-Jul-13
PH.C Placement of concrete in slab (concreto)		04-Jul-13	04-Jul-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		05-Jul-13	05-Jul-13
Construction of Distributor's Pedestals (construcción de los pedestales del distribuidor)		05-Jul-13	06-Jul-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for pedestals (acero)		05-Jul-13	05-Jul-13
PH.C Installation of Anchors for pedestals (instalación de pernos para pedestales)		05-Jul-13	05-Jul-13
PH.C Formwork of pedestals (encofrado)		06-Jul-13	06-Jul-13
PH.C Placement of concrete in pedestals (concreto)		07-Jul-13	07-Jul-13
PH.C Form removal of pedestals and grout (descencofrado y grout)		08-Jul-13	08-Jul-13
Level 1 (nivel 1)		05-Jun-13	11-Jun-13
Bottom Slab - Level 1549 (losa inferior - nivel 0)		05-Jun-13	07-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in slab (acero en losa)		05-Jun-13	07-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in walls (acero en muros)		06-Jun-13	08-Jun-13
PH.C Placement edge formwork (encofrado)		10/09-Jun-13	09-Jun-13
PH.C Water stop placement		10/09-Jun-13	09-Jun-13
PH.C Placement of concrete in slab (concreto)		10/10-Jun-13	10-Jun-13
PH.C Curing Concrete Slab (curado)		11-Jun-13	11-Jun-13
Circular Wall at Level 1552.20 (muro circular - nivel 3.5)		10-Jun-13	22-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for walls (acero)		10-Jun-13	14-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		15-Jun-13	16-Jun-13
PH.C Wall Formwork (encofrado)		17-Jun-13	19-Jun-13
PH.C Water stop placement		19-Jun-13	19-Jun-13
PH.C Placement of concrete in wall (concreto)		20-Jun-13	20-Jun-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		22-Jun-13	22-Jun-13
Separation Wall with Plugra Pits - Level 1552.90 (muro separador - nivel 3.5)		10-Jun-13	24-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for walls (acero)		10-Jun-13	17-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		15-Jun-13	17-Jun-13
PH.C Wall Formwork (encofrado)		18-Jun-13	21-Jun-13
PH.C Water stop placement		21-Jun-13	21-Jun-13
PH.C Placement of concrete in wall (concreto)		22-Jun-13	22-Jun-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		24-Jun-13	24-Jun-13
Upper Slab at Level 1554.40 (losa superior - nivel 5.4)		07-Jun-13	05-Jul-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for walls (acero)		27-Jun-13	29-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		29-Jun-13	30-Jun-13
PH.C Lateral formwork (encofrado)		01-Jul-13	02-Jul-13
PH.C Water stop placement		03-Jul-13	03-Jul-13
PH.C Placement of concrete in wall (concreto)		04-Jul-13	04-Jul-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		05-Jul-13	05-Jul-13
Construction of Distributor's Pedestals (construcción de los pedestales del distribuidor)		05-Jul-13	06-Jul-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement for pedestals (acero)		05-Jul-13	05-Jul-13
PH.C Installation of Anchors for pedestals (instalación de pernos para pedestales)		05-Jul-13	05-Jul-13
PH.C Formwork of pedestals (encofrado)		06-Jul-13	06-Jul-13
PH.C Placement of concrete in pedestals (concreto)		07-Jul-13	07-Jul-13
PH.C Form removal of pedestals and grout (descencofrado y grout)		08-Jul-13	08-Jul-13
Tempa PH (acero en formwork)		07-Jun-13	06-Jul-13
Bottom Slab - Level 1549 (losa - nivel 0)		07-Jun-13	15-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in slab (acero en losa)		07-Jun-13	08-Jun-13
PH.C Habitación and placement of reinforcement in walls (acero en muros)		09-Jun-13	10-Jun-13
PH.C Placement edge formwork (encofrado)		11-Jun-13	12-Jun-13
PH.C Water stop placement		13-Jun-13	13-Jun-13
PH.C Placement of concrete in slab (considered 80% over excavation) (concreto)		14-Jun-13	14-Jun-13
PH.C Curing Concrete Slab (curado)		15-Jun-13	15-Jun-13
Walls at Level 1553.20 (muros al nivel 4.2)		10-Jun-13	23-Jun-13
PH.C Placement of reinforcement for walls (acero)		10-Jun-13	19-Jun-13
PH.C Installation of Anchors for formwork (instalación de pernos para encofrado)		17-Jun-13	17-Jun-13
PH.C Lateral formwork (encofrado)		18-Jun-13	20-Jun-13
PH.C Water stop placement		21-Jun-13	21-Jun-13
PH.C Placement of concrete in wall (concreto)		22-Jun-13	22-Jun-13
PH.C Form removal of Wall (descencofrado)		23-Jun-13	23-Jun-13
Slab in Level 1553.05 (losa - nivel 4.5)		23-Jun-13	06-Jul-13
PH.C Units lateral formwork (encofrado lateral)		23-Jun-13	24-Jun-13
PH.C Formwork of background formwork (encofrado inferior)		24-Jun-13	25-Jun-13
PH.C Placement of steel reinforcement in slab (acero)		25-Jun-13	28-Jun-13
PH.C Placement of embedded elements (colocación de elementos embebidos)		28-Jun-13	28-Jun-13
PH.C Placement lateral edge formwork (encofrado lateral)		29-Jun-13	29-Jun-13
PH.C Placement of concrete in slab (concreto)		30-Jun-13	30-Jun-13
PH.C Form removal for background slab (descencofrado)		08-Jul-13	08-Jul-13



Anexo 3 – Contrato Fidic

Versión Inglés



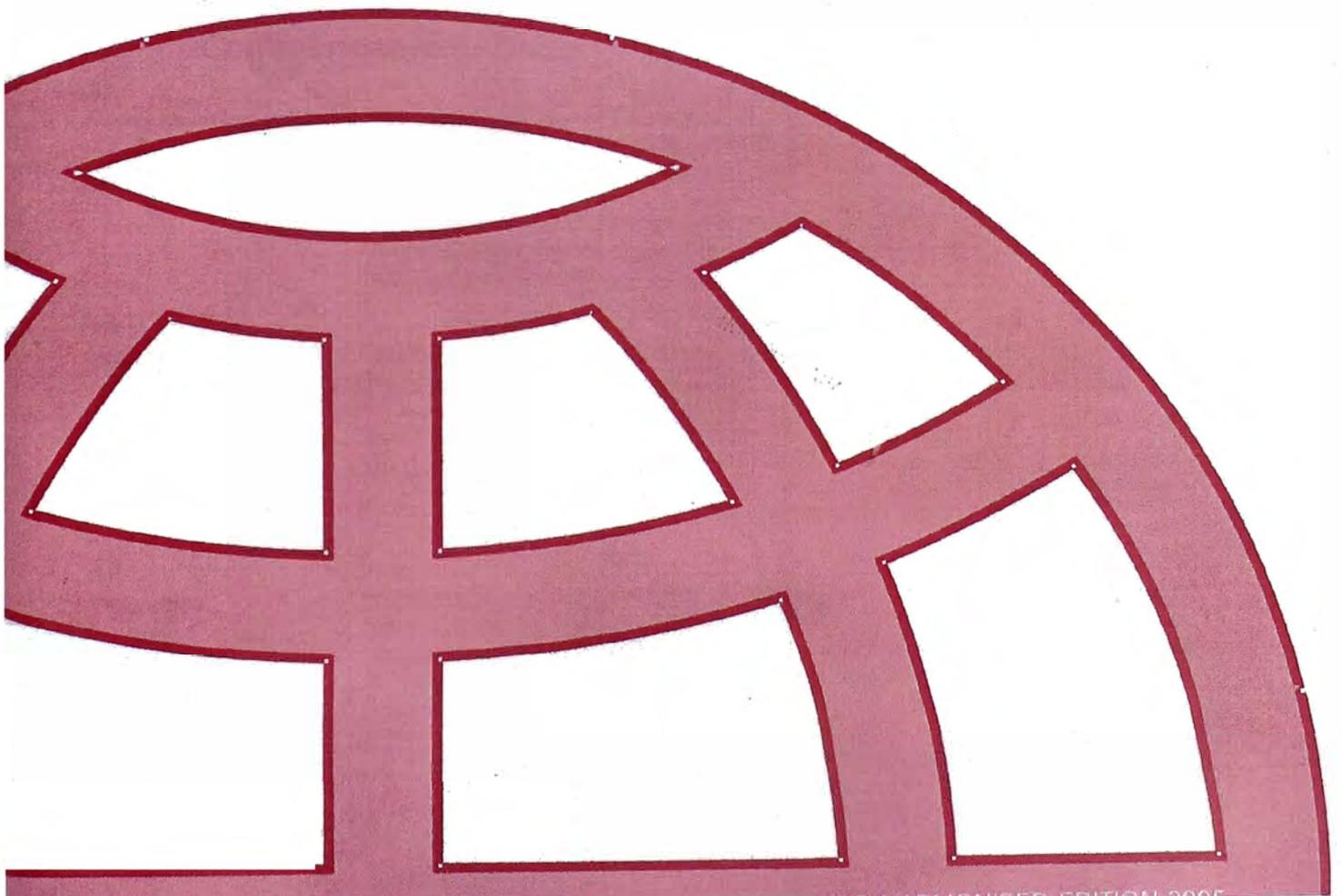
Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils
International Federation of Consulting Engineers
Internationale Vereinigung Beratender Ingenieure
Federación Internacional de Ingenieros Consultores

Conditions of Contract for **Construction**

MDB HARMONISED EDITION

FOR BUILDING AND ENGINEERING WORKS DESIGNED BY THE EMPLOYER

GENERAL CONDITIONS
PARTICULAR CONDITIONS
SAMPLE FORMS



If the Contractor fails to comply with the instruction, the Employer shall be entitled to employ and pay other persons to carry out the work. Except to the extent that the Contractor would have been entitled to payment for the work, the Contractor shall subject to Sub-Clause 2.5 [*Employer's Claims*] pay to the Employer all costs arising from this failure.

7.7

Ownership of Plant and Materials

Each item of Plant and Materials shall, to the extent consistent with the Laws of the Country, become the property of the Employer at whichever is the earlier of the following times, free from liens and other encumbrances:

- (a) when it is delivered to the Site;
- (b) when the Contractor is entitled to payment of the value of the Plant and Materials under Sub-Clause 8.10 [*Payment for Plant and Materials in Event of Suspension*].

7.8

Royalties

Unless otherwise stated in the Specification, the Contractor shall pay all royalties, rents and other payments for:

- (a) natural Materials obtained from outside the Site, and
- (b) the disposal of material from demolitions and excavations and of other surplus material (whether natural or man-made), except to the extent that disposal areas within the Site are specified in the Contract.

8 Commencement, Delays and Suspension

8.1

Commencement of Works

The Engineer shall give the Contractor not less than 7 days' notice of the Commencement Date. Unless otherwise stated in the Particular Conditions, the Commencement Date shall be within 42 days after the Contractor receives the Letter of Acceptance.

The Contractor shall commence the execution of the Works as soon as is reasonably practicable after the Commencement Date, and shall then proceed with the Works with due expedition and without delay.

8.2

Time for Completion

The Contractor shall complete the whole of the Works, and each Section (if any), within the Time for Completion for the Works or Section (as the case may be), including:

- (a) achieving the passing of the Tests on Completion, and
- (b) completing all work which is stated in the Contract as being required for the Works or Section to be considered to be completed for the purposes of taking-over under Sub-Clause 10.1 [*Taking Over of the Works and Sections*].

8.3

Programme

The Contractor shall submit a detailed time programme to the Engineer within 28 days after receiving the notice under Sub-Clause 8.1 [*Commencement of Works*]. The Contractor shall also submit a revised programme whenever the previous programme is inconsistent with actual progress or with the Contractor's obligations. Each programme shall include:



- (a) the order in which the Contractor intends to carry out the Works, including the anticipated timing of each stage of design (if any), Contractor's Documents, procurement, manufacture of Plant, delivery to Site, construction, erection and testing,

- (b) each of these stages for work by each nominated Subcontractor (as defined in Clause 5 [*Nominated Subcontractors*]),
- (c) the sequence and timing of inspections and tests specified in the Contract, and
- (d) a supporting report which includes:
 - (i) a general description of the methods which the Contractor intends to adopt, and of the major stages, in the execution of the Works, and
 - (ii) details showing the Contractor's reasonable estimate of the number of each class of Contractor's Personnel and of each type of Contractor's Equipment, required on the Site for each major stage.

Unless the Engineer, within 21 days after receiving a programme, gives notice to the Contractor stating the extent to which it does not comply with the Contract, the Contractor shall proceed in accordance with the programme, subject to his other obligations under the Contract. The Employer's Personnel shall be entitled to rely upon the programme when planning their activities.

The Contractor shall promptly give notice to the Engineer of specific probable future events or circumstances which may adversely affect the work, increase the Contract Price or delay the execution of the Works. The Engineer may require the Contractor to submit an estimate of the anticipated effect of the future event or circumstances, and/or a proposal under Sub-Clause 13.3 [*Variation Procedure*].

If, at any time, the Engineer gives notice to the Contractor that a programme fails (to the extent stated) to comply with the Contract or to be consistent with actual progress and the Contractor's stated intentions, the Contractor shall submit a revised programme to the Engineer in accordance with this Sub-Clause.

8.4

Extension of Time for Completion

The Contractor shall be entitled subject to Sub-Clause 20.1 [*Contractor's Claims*] to an extension of the Time for Completion if and to the extent that completion for the purposes of Sub-Clause 10.1 [*Taking-Over of the Works and Sections*] is or will be delayed by any of the following causes:

- (a) a Variation (unless an adjustment to the Time for Completion has been agreed under Sub-Clause 13.3 [*Variation Procedure*]) or other substantial change in the quantity of an item of work included in the Contract,
- (b) a cause of delay giving an entitlement to extension of time under a Sub-Clause of these Conditions,
- (c) exceptionally adverse climatic conditions,
- (d) Unforeseeable shortages in the availability of personnel or Goods caused by epidemic or governmental actions, or
- (e) any delay, impediment or prevention caused by or attributable to the Employer, the Employer's Personnel, or the Employer's other contractors.

If the Contractor considers himself to be entitled to an extension of the Time for Completion, the Contractor shall give notice to the Engineer in accordance with Sub-Clause 20.1 [*Contractor's Claims*]. When determining each extension of time under Sub-Clause 20.1, the Engineer shall review previous determinations and may increase, but shall not decrease, the total extension of time.

8.5

Delays Caused by Authorities



If the following conditions apply, namely:

- (a) the Contractor has diligently followed the procedures laid down by the relevant legally constituted public authorities in the Country,