

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MÉTODOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL DEL TÚNEL DE DESVÍO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA Y PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS EMPLEADOS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

BACHILLER: Yéssica Isabel Quito Pérez

ASESOR: Ing. Marcos Mendoza Linares

Cajamarca - Perú
NOVIEMBRE - 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco hoy y en todo momento a Dios pues es siempre mi fortaleza, Él me dio la dicha de una familia y el abrazo sincero de un amigo, Él es quién ilumina el camino en cada aspecto de mi vida.

A mis padres, hermanas, sobrinos y a mi familia en general ya que siempre me incentivaron con sus palabras y consejos.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Marcos Mendoza Linares, por su apoyo y por instruirme.

A todas las personas que hicieron y hacen posible mi crecimiento, a mis compañeros y amigos de las aulas universitarias con quienes inicié el camino de la ingeniería civil.

DEDICATORIA

A DIOS:

Porque estoy convencida que Él es la esencia en la cual inician y terminan las cosas; todo lo que conozco, todo lo que sé y todo lo que soy es gracias a su infinito amor. A Ti mi Buen Amigo

A MIS PADRES

Flor y Sebastián, por ser mi cimiento eterno y porque de ellos aprendí los más grandes valores en mi vida: la perseverancia, el respeto y la bondad

A MIS HERMANAS

Elvira, Lizeth, Cinthya y Úrsula que significan mi apoyo incondicional y con quienes tengo los más bellos recuerdos de mi infancia.

A mis sobrinos Juan Diego, Gloria y Valentina con quienes vuelvo a ser niña y cuyas sonrisas son motivo constante para mi superación.

ÍNDICE

| Contenido | Página |
|---|-----------|
| Agradecimiento | ii |
| Dedicatoria | iii |
| Índice | iv |
| Índice de Tablas | vi |
| Índice de Figuras | vii |
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 01 |
| 1.1 Contexto | 01 |
| 1.2 Planteamiento del Problema | 01 |
| 1.3 Justificación | 02 |
| 1.4 Objetivos | 03 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 04 |
| 2.1 Antecedentes | 04 |
| 2.2 Bases Teóricas | 08 |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1 Datos de la estructura | 21 |
| Métodos y Tecnologías | |
| 3.2 empleadas en la construcción de la estructura de control | 24 |
| 3.3 Metodología de la Investigación | 44 |
| 3.4 Presentación de los resultados | 47 |
| CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 53 |
| 4.1 Optimización del tiempo al emplear rutas alternas para llegar al sitio de obras | 53 |

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| 4.2 Optimización del tiempo al cambiar el proceso de ejecución de la estructura de control | 53 |
| 4.3 Optimización del tiempo y los recursos empleados mediante el uso del Encofrado Deslizante con Andamio Telescópico | 54 |
| 4.4 Control de la temperatura del concreto a través del uso del serpentín como sistema de enfriamiento | 54 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 55 |
| 5.1 Conclusiones | 55 |
| 5.2 Recomendaciones | 56 |
| CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA | 57 |
| CAPITULO VII. ANEXOS | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Título | | Página |
|-------------|--|-------|---------------|
| Tabla N° 01 | Compuestos principales del cemento en el calor de hidratación | ----- | 19 |
| Tabla N° 02 | Ubicación del Proyecto | ----- | 20 |
| Tabla N° 03 | Duración de Caudales Medios Mensuales | ----- | 22 |
| Tabla N° 04 | Operacionalización de Variables | ----- | 45 |
| Tabla N° 05 | Tiempos de situación existente Vs Idea incorporada (Método 01) | ----- | 46 |
| Tabla N° 06 | Tiempos de situación existente Vs Idea incorporada (Método 02) | ----- | 47 |
| Tabla N° 07 | Productividad Alcanzada con Encofrado Deslizante – medición 1 | ----- | 47 |
| Tabla N° 08 | Velocidad mínima, máxima y acumulada en la pared lateral de la estructura de control | ----- | 48 |
| Tabla N° 09 | Productividad Alcanzada con Encofrado Deslizante – medición 2 | ----- | 48 |
| Tabla N° 10 | Velocidad mínima, máxima y acumulada en la pared lateral de la estructura de control | ----- | 49 |
| Tabla N° 11 | Índice Realizado e índice previsto del encofrado | ----- | 50 |
| Tabla N° 12 | Comparativo de cantidad de personal empleado | ----- | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Titulo | Página |
|--------------|--|----------|
| Figura N° 1 | Obra de desvío – Ubicación en margen Izquierdo | ----- 13 |
| Figura N° 2 | Planta Nivel 1004.00 | ----- 13 |
| Figura N° 3 | Corte Transversal – Estructura de Control y Pozo Vertical | ----- 14 |
| Figura N° 4 | Corte Longitudinal – Estructura de Control | ----- 15 |
| Figura N° 5 | Corte Transversal Estructura de Control – Aguas Abajo | ----- 15 |
| Figura N° 6 | Corte Transversal Estructura de Control– Aguas Arriba | ----- 16 |
| Figura N° 7 | Corte Pila Central | ----- 16 |
| Figura N° 8 | Pozo Vertical – Cortes | ----- 17 |
| Figura N° 9 | Caudales Medios Mensuales de Chaglla | ----- 23 |
| Figura N° 10 | Ancho de Vía Inicial. Trocha carrozable Cayumba – Sta. Rita | ----- 24 |
| Figura N° 11 | Rehabilitación de la Trocha Carrozable Cayumba – Sta. Rita | ----- 25 |
| Figura N° 12 | Travesía del Río Huallaga | ----- 25 |
| Figura N° 13 | Construcción del Tramo II – Acceso al Túnel de Desvío | ----- 26 |
| Figura N° 14 | Metodología Prevista para la excavación de los portales de entrada del pozo vertical y del túnel de desvío | ----- 28 |
| Figura N° 15 | Proceso de ejecución de la estructura de control | ----- 29 |

| | | | |
|--------------|---|-------|----|
| Figura N° 16 | Metodología de Ataque para la Excavación Subterránea del Túnel de Desvío | ----- | 30 |
| Figura N° 17 | Sistema de Banquetas Portales | ----- | 31 |
| Figura N° 18 | Ubicación de los talleres y la Planta de Concreto | ----- | 34 |
| Figura N° 19 | Colocación del Acero – Estructura de Control | ----- | 34 |
| Figura N° 20 | Armado de la Bóveda de la estructura de Control | ----- | 35 |
| Figura N° 21 | Encofrado deslizante con andamio telescópico | ----- | 37 |
| Figura N° 22 | Sistema de Trabamiento para incrementar la seguridad por medio de barras DYWIDAG | ----- | 37 |
| Figura N° 23 | Sistema de Trabamiento | ----- | 38 |
| Figura N° 24 | Limpieza de andamios de acabado | ----- | 38 |
| Figura N° 25 | Encofrado Deslizante Estructura Control con Andamio Telescópico - Túnel de Desvío | ----- | 39 |
| Figura N° 26 | Diseño del Serpentín | ----- | 40 |
| Figura N° 27 | Colocación del Serpentín | ----- | 41 |
| Figura N° 28 | Empleo de aspersores de neblina de agua | ----- | 42 |
| Figura N° 29 | Anclaje de mangueras para curado en el Andamio | ----- | 42 |
| Figura N° 30 | Cronograma Comparativo de 57 meses Vs 48 meses | ----- | 46 |
| Figura N° 31 | Velocidad de intervalo, Acumulada y Meta – Medición 01 | ----- | 48 |
| Figura N° 32 | Velocidad de intervalo, Acumulada y Meta – Medición 02 | ----- | 49 |

RESUMEN

La presente tesis se basó en la Construcción de la Estructura de Control del Túnel de Desvío de la Central Hidroeléctrica Chaglla, ubicada en el departamento de Huánuco, provincia de Pillao, distrito de Chinchao. El objetivo fue identificar y reconocer los métodos y nuevas tecnologías usados durante la construcción de la estructura mencionada que permitieron reducir el plazo contractual en 9 meses y a su vez cumplir los estándares de calidad exigidos. La metodología empleada fue la observación, la toma de datos y la participación directa de la construcción de la estructura en campo, haciendo de la tesis una investigación exploratoria ya que no se encontraron estudios que hayan abordado el tema con antelación. Se logró determinar que los métodos y tecnologías empleadas se fundamentan en: 1) Sustitución temporal de un elemento por otro que cumpla la misma función pero que cuya ejecución conlleve menos tiempo, 2) División de una estructura en las partes que conforman a su vez otra estructura, siempre y cuando su eficiencia operacional no se vea afectada y 3) la importancia del encofrado deslizante con andamios telescópicos que permitieron optimizar el tiempo y el uso del serpentín como sistema de enfriamiento durante el fraguado del concreto. Mediante la presente tesis logramos determinar que estos métodos y tecnologías pueden ser empleados en estructuras con características similares.

ABSTRACT

This thesis is based on the construction of the Control Structure of Desvio Tunnel fo in Chaglla Hydroelectric Plant, located in the department of Huanuco province of Pillao, district of Chinchao. The aim was to identify and recognize the methods and technologies used for the construction of the aforementioned structure that reduced the contract period in 9 months and in turn comply the quality standards required. The methodology used was observation, data collection and direct participation in the construction of the structure in the field, making the thesis an exploratory investigation as no studies have addressed the issue in advance found. It was determined that the methods and technologies used are based on: 1) Temporary replacement of one element by another performing the same function but whose execution is least time 2) Division of a structure in the parts that make turn another structure, provided that operational efficiency is not affected and 3) the importance of telescopic sliding formwork scaffolding that allowed optimize time and use as a cooling coil in the setting of concrete. By this theory we determine that these methods and technologies can be used in structures with similar features.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

Hoy en día se puede apreciar cómo se han desarrollado megaproyectos a lo largo de todo el mundo; muestra de ello son las represas de “Las Tres Gargantas” en China, “Itapú” en los límites de Brasil y Paraguay, nuestro País no es ajeno a estos megaproyectos, en el departamento de Huánuco se viene desarrollando la Central Hidroeléctrica Chaglla. Para éste proyecto se emplearán las aguas del río Huallaga, que serán embalsadas a 30 km aguas arriba del centro poblado Cayumba. La potencia instalada de la central será de 450 MW y generará 2,530 Gw-h/año convirtiéndola en la cuarta hidroeléctrica más grande de Perú.

Su construcción se inició el 2 de mayo del 2011, el plazo contractual de construcción es de 57 meses y la conclusión de uno de los hitos principales ha sido lograr con éxito el desvío del río Huallaga el 10 de agosto del año 2012 época previa a la crecida del río logrando así, un adelanto sustancial de 9 meses en el cronograma general del proyecto; para ello se construyó el túnel de desvío en la margen izquierda, éste tiene 1,125 m de longitud y sección tipo baúl de diámetro 12.5 m; éste contiene la Estructura de Control que alojará las compuertas para el embalse de la presa.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los principales retos de la ingeniería civil es idear y utilizar métodos o nuevas tecnologías que permitan disminuir el tiempo de construcción de las estructuras y que garanticen el cumplimiento de las especificaciones técnicas de diseño. Ésta tarea se torna aún más complicada ya que en cada estructura las condiciones de las cuales depende su ejecución no son iguales.

Durante la construcción de la Central Hidroeléctrica de Chaglla se tuvo que realizar el desvío del río Huallaga en el periodo previo a la crecida de éste. Por lo tanto se tenía la necesidad de culminar la construcción de la Estructura de Control, teniendo en cuenta el plazo de ejecución, la conservación de las propiedades físicas del concreto y además garantizar la seguridad a todo nivel. Es por ello que nos hacemos la siguiente pregunta:

¿QUÉ MÉTODOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS SE UTILIZARON PARA REDUCIR EL PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL EN EL TÚNEL DE DESVÍO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA?

La presente tesis trata de contestar ésta pregunta, para lo cual se plantea la siguiente **hipótesis**:

La aplicación de los métodos y nuevas tecnologías a emplear en la construcción de la Estructura de Control de la Central Hidroeléctrica Chaglla permitirán el cumplimiento de plazo y estándares de calidad exigidos.

1.3. Justificación

Ante la necesidad de construir estructuras cada vez más seguras, de mejor calidad y en el menor tiempo posible es que se busca a través de la presente tesis describir los métodos y tecnologías que se emplearon durante la construcción de la Estructura de Control de la Central Hidroeléctrica Chaglla, en dónde por ser una estructura de volúmenes considerables se tuvo que lidiar con temperaturas altas, el nivel de riesgo era alto por encontrarse dentro de un túnel dificultando la continuidad de las actividades y así mismo cumplir con los estándares de calidad exigidos. Es así que se buscaron las mejores estrategias para optimizar el tiempo, los recursos, superar las metas trazadas y terminar su construcción en la fecha prevista.

Para verificar la hipótesis, se plantean los objetivos:

1.4. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

- Identificar, reconocer los métodos y nuevas tecnologías empleadas en la construcción de la estructura de control de la Central Hidroeléctrica de Chaglla que permitieron la reducción de tiempo y la optimización de los recursos.

Objetivo Específico:

- I. Definir qué método permitió llegar al sitio de obra antes de la fecha prevista.
- II. Identificar el (los) cambio(s) adoptados en la ingeniería básica de la Estructura de Control.
- III. Reconocer la importancia del encofrado deslizante con trabamiento de andamios telescópicos y el uso de serpentines.

Una vez finalizada la tesis se obtuvo un procedimiento que permitió disminuir el tiempo contractual del Proyecto, lo que nos permitió, a la vez, conocer nuevos procedimientos constructivos, optimizando los recursos y obtener lecciones (experiencias ocurridas durante la ejecución del proyecto y la tesis) que podremos usar al iniciar un nuevo Proyecto, considerando que la presente tesis tiene como meta hacer llegar a cada una de las personas interesadas en el tema de construcción de estructuras hidráulicas, sean estudiantes, bachilleres o profesionales de las diferentes áreas, datos y una metodología que puedan usar como base para la realización en proyectos con características similares.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Ya que cada hidroeléctrica tiene una conformación particular de acuerdo a la configuración topográfica, ubicación y potencia, etc., no se han encontrado datos propiamente sobre el estudio y planificación de métodos constructivos de estructuras confinadas en un túnel, sin embargo abordaremos a continuación algunos datos que serán de ayuda para la investigación.

2.1.1. Internacionales: Uno de los aspectos que trataremos en la presente tesis será el cumplimiento de plazo, El Ingeniero Marcos Rodríguez Mora, Magister en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructuras de la Universidad de Costa Rica escribe en su artículo "Control de Plazo de entrega de un Contrato" lo siguiente:

..." El tiempo de entrega de una obra civil en construcción es uno de los factores más importantes que requieren planeamiento y control para alcanzar la eficiencia y eficacia para el propietario de la obra. Todo propietario desea obtener la obra civil lo antes posible, sea para venderla, alquilarla o utilizarla, recuperando así más pronto su inversión o cumpliendo sus objetivos comerciales. En el caso de la obra pública, el ciudadano que usa la carretera, la escuela o el hospital público, desea contar con el servicio lo antes posible para resolver sus necesidades. De esta forma se lleva el beneficio a la región donde se construyó la obra pública en el tiempo requerido, sin demoras, que afecten el suministro de los servicios públicos. En el caso del transporte, las carreteras construidas en un tiempo razonable permiten habilitar la comunicación regional y facilitar el desarrollo económico de una región mediante la movilidad de personas, vehículos,

cargas, etc. Por el contrario, cuando las obras de carretera se demoran mucho tiempo, se retrasa también el desarrollo regional y económico del país.

Por otra parte, al propio constructor también le conviene entregar las obras construidas lo antes posible, para reducir sus gastos indirectos relacionados con la construcción y obtener la utilidad o ganancia del contrato más temprano que tarde. También las entidades financieras que proporcionan el financiamiento, requieren de tener en cuenta el plazo definido de construcción para saber cuándo pueden tener la garantía plena sobre el préstamo de financiamiento de la obra y para ordenar su flujo de dinero para la obra. Es decir, a todos los participantes les interesa y les conviene el terminar la obra en el plazo convenido, o inclusive antes, de ser técnicamente posible.

Sin embargo, si a muchos participantes les interesa terminar antes la obra, ¿por qué razones no sucede así en todos los casos? Las razones son muchas y variadas, ya que la construcción de obras es una actividad compleja y donde pueden surgir diversos factores adversos que contribuyen más con la demora de las actividades que con el cumplimiento del tiempo de ejecución. Algunos factores típicos que producen demora en las obras pueden ser: la lluvia, mala organización, falta de personal, personal poco productivo, fallas de maquinaria, demora en el pago de reembolso, errores constructivos, accidentes laborales, huelgas, sismos, defectos en los planos y otros muchos”¹ ...

Por otra parte, el sistema de enfriamiento planteado en la presente tesis fue usada por primera vez a principio de los años treinta en la construcción de la empresa Hoover en Estado Unidos, posteriormente se usó en la presa de

¹ (2006-03). Obras Públicas-Control de Plazo de entrega de un contrato. Infraestructura Vial Digital.

Recuperado de

http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=241&Itemid=307

Angostura en México, teniendo mayor realce en la construcción de la presa Huites:

...” El enfriamiento se realizó por medio de dos sistemas independientes. El sistema 1 que utiliza como agua de enfriamiento el agua industrial cuya temperatura se consideró igual a la temperatura del río. Esta etapa se inició el mismo día del colado con la conexión del serpentín al sistema 1 y duró en forma continua 59 días o hasta que la temperatura media del colado respectivo haya alcanzado los 24 °C. El sistema 2 utilizó como agua de enfriamiento el agua refrigerada cuya temperatura al ingreso del serpentín se asumió ser de 6 ° C. Inició al día siguiente, y duró en forma continua 59 días o hasta que la temperatura media del colado respectivo haya alcanzado los 24 °C.”²..

La Dra. Ana Cecilia Borbón Almada, profesora en el Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora – México, en su estudio: “Estudios Térmicos en componentes y sistemas constructivos” plantea lo siguiente:

....”Desarrollar una metodología para estimar la eficiencia energética en viviendas en base al análisis de desempeño térmico de sistemas constructivos mediante dos dispositivos, siendo ambos dispositivos de medición las propiedades térmicas con bases en la norma ASTM – C- 177, compuestos por dos unidades: una de enfriamiento y otra unidad de calentamiento”³ ... evalúa el comportamiento de los diferentes componentes de los elementos estructurales y los relaciona de acuerdo a sus propiedades físicas y térmicas.

² (1997 – 08) Revista "Construcción y Obras Públicas Latinoamérica"
Recuperado de
http://www.icpa.org.ar/publico/files/rev17presa_colo.pdf

³ (2007 – 02). Estudios Térmicos en Componentes y Sistemas Constructivos.
Recuperado de:
http://www.sustentabilidad.uson.mx/resultados_Encuentro_Universitario/Borb%C3%B3n%20A,%20Estudios%20T%C3%A9rmicos%20Sistemas%20Constructivos.pdf

Uno de los métodos que se describen es el empleo de encofrados deslizantes con andamios telescópicos. Las primeras obras en las que se emplearon encofrados deslizantes fueron silos, en 1903 en Estados Unidos. Después en 1924, en Alemania y más tarde en la Ex-Unión Soviética; siguieron con cortos intervalos, depósitos elevados de agua (Alemania, 1931), chimeneas de fábrica de forma cilíndrica (Alemania, 1932), presas (Alemania, 1933), faros infraestructuras de puentes, torres de televisión, salas de máquinas entre otros.

El método de los encofrados deslizantes se empezó a desarrollar notablemente desde que se mecanizó el sistema de elevación del encofrado con la introducción de instalaciones electrohidráulicas.

2.1.2. Nacionales: En el ámbito nacional el uso de encofrados deslizantes para construcciones de concreto armado se inicia en nuestro país en el año 1954 siendo la empresa “Cillóniz Olazábal Urquiaga S.A. (COUSA)” quien con autorización de la firma B. M. Heede, propietaria de la patente, introdujo las gatas hidráulicas, seis años después de su empleo en los Estados Unidos. La primera gran obra que se realizó fueron los Silos para granos en el terminal marítimo del Callao en el año 1955.

Existen numerosos estudios acerca de métodos como encofrados deslizantes empleados en estructuras con dimensiones considerables y su impacto en el periodo de ejecución y reducción de materiales, sin embargo no se encontraron referencias bibliográficas que hagan mención de un sistema de andamios telescópicos incluidos dentro del proceso constructivo usando los encofrados deslizantes.

Cabe recalcar que cada obra tiene características generales y específicas siendo éstas últimas las que marcan la diferencia entre la utilización y descarte entre un método y otro.

2.1.3. Regionales: El ingeniero Manfredo Gallo López, ex – alumno de la Universidad de Piura, en el capítulo II, de su tesis: “Inspecciones técnicas de seguridad estructural en edificaciones de concreto armado”, habla de las fisuraciones en estructuras de concreto y sus causas, determinando lo siguiente:

...” Las fisuras por origen térmico se pueden producir por el gradiente de temperatura que se produce en el concreto por su baja conductividad, la solución a este problema es un buen curado. Otros efectos térmicos que se producen son las variaciones fuertes de la temperatura, focos puntuales de calor y empujes producidos por congelación de agua”⁴... así mismo atribuye las causas más comunes de fisuración a problemas intrínsecos del propio concreto adicionalmente a problemas del proyecto y/o ejecución de obra.

2.1.4. Locales: En el ámbito local no se han encontrado trabajos o estudios relacionados con métodos y tecnologías empleadas durante la construcción de una estructura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Proceso Constructivo: Para tener un control de obra y una eficiente administración del proyecto es necesario seguir el planeamiento el cual va a ser referencia de cómo se va a proceder durante la ejecución de la obra.

⁴ (2006 – 03) Tesis: “Inspecciones Técnicas de Seguridad Estructural en Edificaciones del Concreto Armado”
Recuperado de:
http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1363/ICI_152.pdf?sequence=1

El planeamiento es la determinación de los tiempos para las operaciones que abarcan el proyecto, la suma de los tiempos constituya el tiempo total de terminación⁵

Un programa es una tabla de tiempos para un plan y, por consiguiente no se puede establecer hasta que éste se haya desarrollado, consiste en determinar la duración de cada actividad y estimar la duración total del proyecto. Además la duración de todo proyecto puede estimarse en base a tres factores: la experiencia, la cantidad de trabajo a realizar y los recursos asignados.⁶

Una programación para el plan que se vaya a seguir contiene los siguientes puntos:

- Duración estimada de cada actividad.
- El tiempo de inicio y terminación requerido para terminar el proyecto.
- Tiempos más tempranos en que se puede empezar una actividad.
- Tiempos más tardíos en que se tiene que iniciar y terminar una actividad.
- Holgura positiva o negativa en el tiempo en que se puede y en el que se debe iniciar y terminar una actividad.

⁵ Antill and Wohead (1995), Método de la Ruta Crítica y su aplicación en la Construcción, Limusa Noriega Editores, México. Pág. 23

⁶ Banco Interamericano de Desarrollo (1985) "Proyectos de Desarrollo", tercera edición. Editorial Limusa.
Pág 144

- La ruta crítica.⁷

El proceso constructivo va muy relacionado con la planificación del proyecto, ésta situación se puede definir como: el método y organización de disposición de elementos y sistemas constructivos, que consiste en el empleo y combinación de materiales en función de sus cualidades, naturaleza y destino todo ello con la finalidad de obtener mayor solidez y aptitud.

El proceso en sí tiene por objetivo establecer una serie de pasos para ejecutar una actividad o conjunto de actividades y llegar al término de la construcción. Este proceso constructivo toma un papel muy importante en la construcción, el objetivo es ir supervisando cada paso en cada actividad de forma tal que se cumplan las especificaciones y que cada actividad se realice con óptima calidad.

En la construcción existen diversos tipos de procesos constructivos que pueden ser desde la construcción de una casa hasta para la construcción de una plataforma o incluso para la construcción de una presa; cada proceso va ser diferente y depende de la magnitud de la obra.

Durante el proceso constructivo se deben tener reuniones periódicas con los supervisores para ver el avance del proyecto, hacer una evaluación del mismo, proponer cambios si es que existen, supervisar paso a paso el proceso que se utilice, checar que es lo que está programado durante la semana, mes, etc. Supervisar que actividades

⁷ Idem 6, pág. 144

están por hacerse y cuales ya se elaboraron, llevar todo un programa de evaluación de la construcción.⁸

Todo lo anterior va a servir para dar paso a la ejecución del proyecto, en este caso, para la Estructura de Control de la Central Hidroeléctrica Chaglla.

2.2.2. Central Hidroeléctrica Chaglla (CH Chaglla): El aprovechamiento Hidroeléctrica Chaglla está situado en el centro-este de Perú, en el departamento de Huánuco. La potencia instalada de la central será de 450 MW y generará 2,530 Gw-h/año convirtiéndola en la cuarta hidroeléctrica más grande de Perú.

2.2.3. Túnel de Desvío de la CH Chaglla: Túnel de 1,125 m de longitud, con una sección tipo baúl y con diámetro de 12.5 m. Fue construido para desviar el Río Huallaga y con ello permitir la construcción de las ataguías y consecuentemente de la presa.

2.2.4. Estructura de Control: La estructura para el Desvío del Río en el Proyecto Hidroeléctrico Chaglla está constituida por un túnel de 41.50 m de largo, 19.50 m de ancho máximo, 19.50 m de altura máxima y 3.50 m de espesor máximo de pared. El túnel tiene una sección transversal compuesta por un rectángulo en la mitad inferior y un semicírculo en la mitad superior.

La sección extrema de aguas arriba del túnel está apoyada en la roca en la cota 1004.00 y tiene un espesor de pared uniforme de 0.50 m en todo el perímetro. La cota de fundación va disminuyendo linealmente, en la dirección del eje del túnel, hasta llegar a la cota 1000.50 a una distancia de 20.00 m medida desde el extremo de aguas arriba. En

⁸ Antill and Woohead (1995) "Método de la ruta crítica y su aplicación en la construcción", Limusa Noriega Editores, México, Pág. 379

éste sector del túnel el ancho y la altura del mismo varían, incrementándose ambos linealmente, de 13.50 m en el extremo aguas arriba hasta 19.50m. El espesor de las paredes del túnel también se incrementa linealmente de 0.50 m hasta 3.50 m.

En el sector de aguas abajo del túnel, que se desarrolla entre los 20 m y los 41.50 m medidos desde el extremo de aguas arriba, tanto el ancho, como la altura y el espesor de paredes mantienen valores constantes de 19.50 m, 19.50 m y 3.50 m respectivamente. La cota de fundación de este sector es 1,000.50

En el interior del túnel hay una pila central, de 14.75 m de largo y 3.00 m de espesor máximo, que se vincula a la losa de fondo y a la bóveda superior.

2.2.5. Pozo Vertical o Shaft: En la zona media del túnel éste se conecta con un pozo vertical de sección rectangular, de 8.50 m por 16.50 m y una altura de 15.00 m hasta llegar a la cota 1035.00. El espesor de las paredes del pozo vertical es variable entre 1.25 m y 1.55 m aproximadamente. El pozo vertical se encuentra dividido a la mitad por un tabique central, de 1.40 m de espesor, que se prolonga más allá de la cota 1035.00 hasta llegar a la cota 1060.00. El tabique central del pozo vertical se vincula en el interior del túnel a la pila central. Entre la cota 1035.00 y la cota 1060.00 el tabique central está anclado a la roca adyacente.

La plataforma de maniobra de las compuertas se desarrolla en la cota 1060.00. Consta de una losa de 1.00 de espesor. Esta losa apoya en los contornos sobre un brocal de 0.50 cm de espesor y en la parte media sobre el tabique central del pozo vertical. Toda la estructura se encuentra empotrada en el macizo rocoso ubicado en la margen izquierda del río. El cierre del túnel se realiza mediante dos

compuertas deslizantes que se desplazan sobre las recatas de aguas abajo y una compuerta vagón que opera sobre las recatas de aguas arriba.

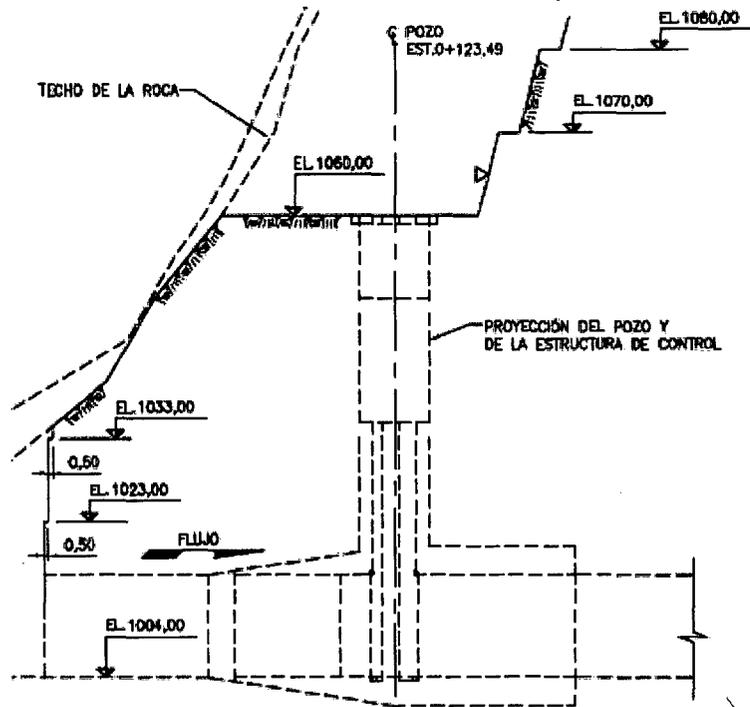


Figura N° 1: Obra de Desvío - Ubicación en Margen Izquierda.

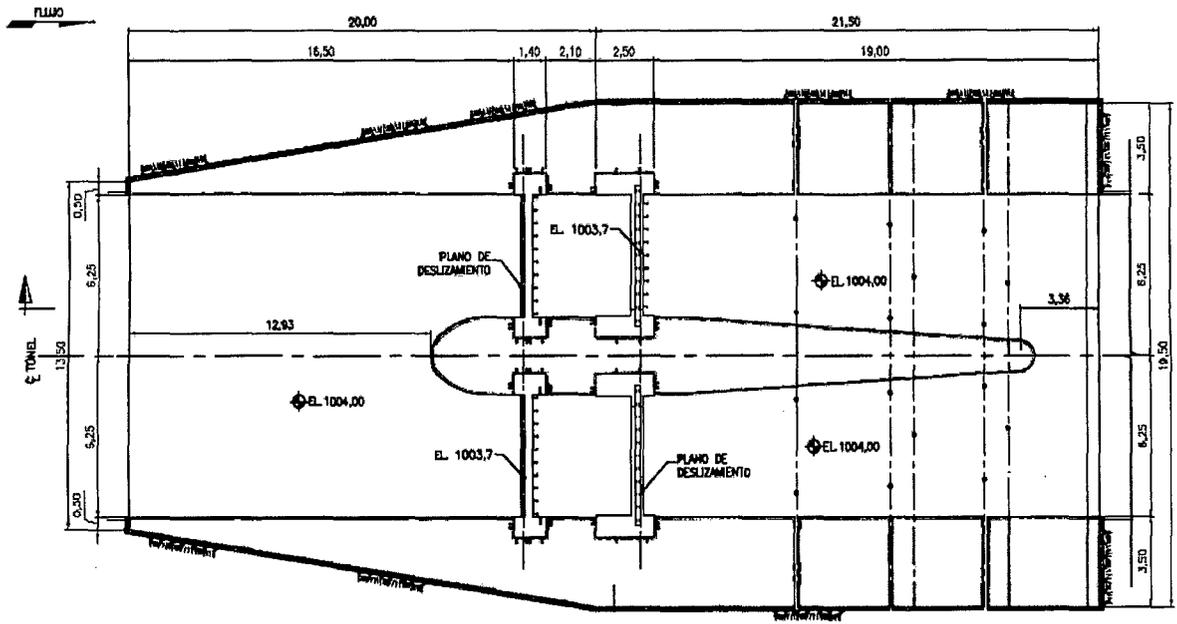


Figura N° 2: Planta Nivel 1004.00

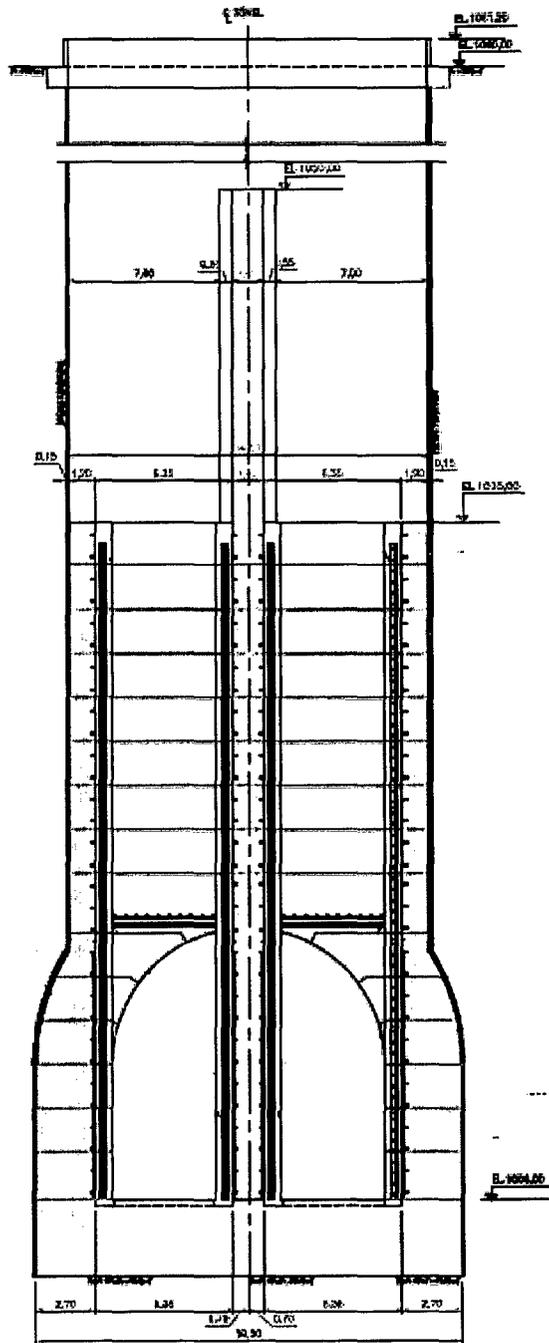


Figura N° 3: Corte Transversal – Estructura de Control y Pozo Vertical

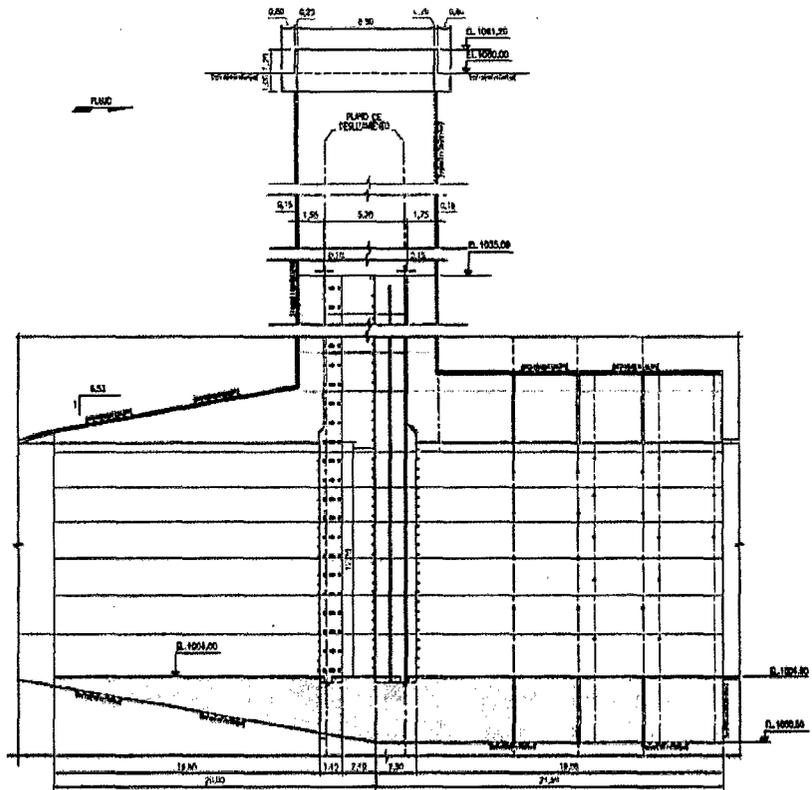


Figura N° 4: Corte Longitudinal Estructura de Control.

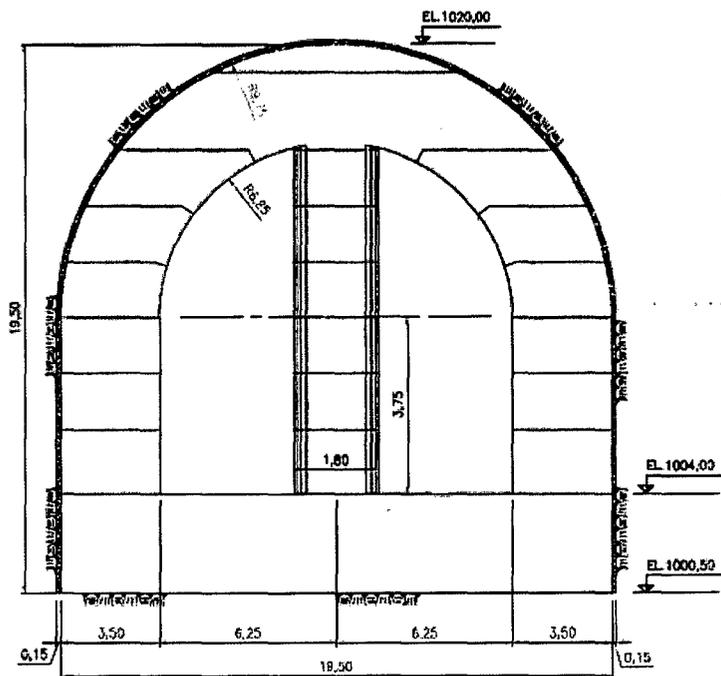


Figura N° 5: Corte Transversal Estructura de Control – Aguas Abajo

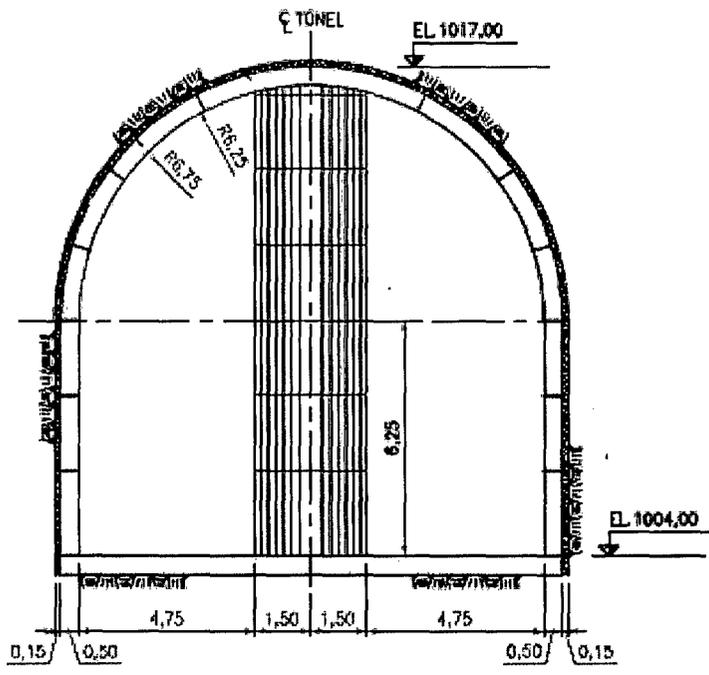


Figura N° 6: Corte Transversal Estructura de Control- Aguas Arriba

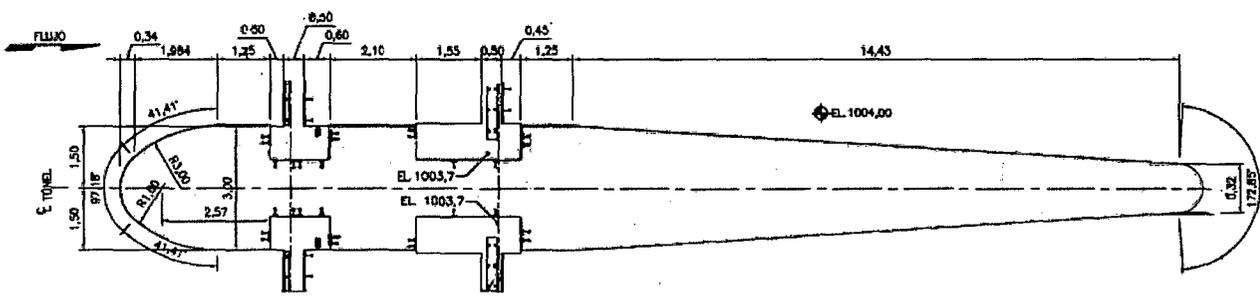


Figura N° 7: Corte Pila Central

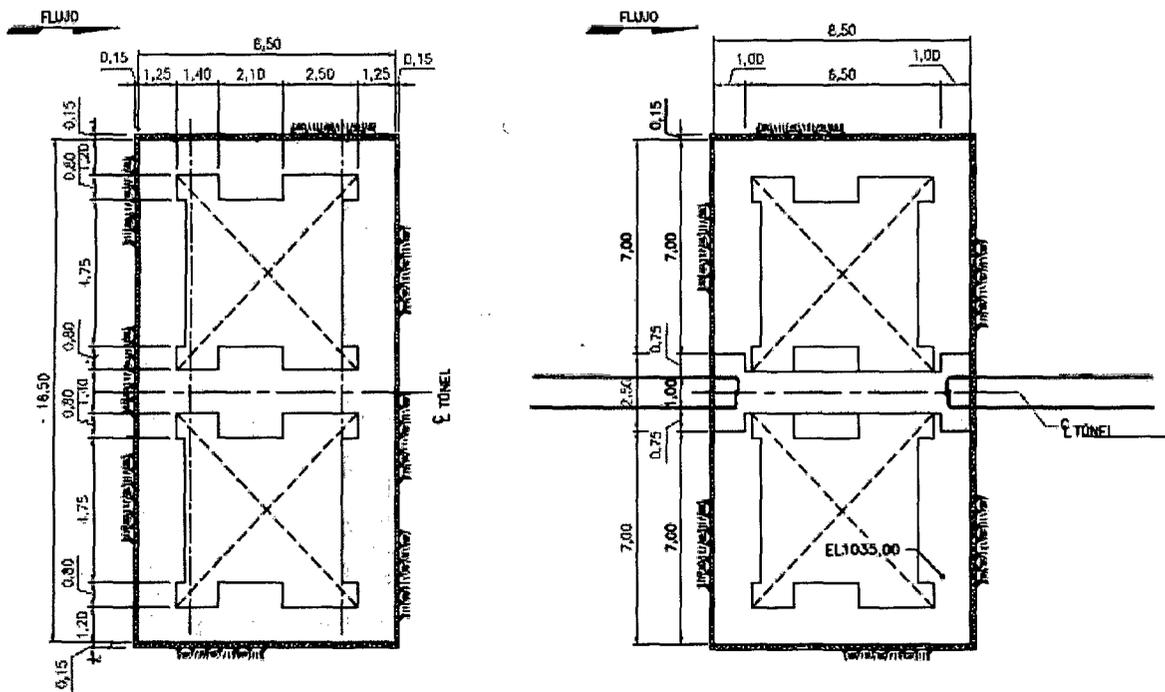


Figura N° 8: Pozo Vertical - Cortes

2.2.6. Encofrado Deslizante: Es método que se empleado durante la construcción de la estructura de control de la CH Chaglla, que consiste en desplazar el encofrado sin esperar que el hormigón termine completamente de fraguar. Las ventajas que tiene son: uniformidad, homogeneidad y resistencia final del hormigón, además de la velocidad de construcción.

2.2.7. Andamio Telescópico: Se trata de una construcción provisional con la que se hacen puentes, pasarelas o plataformas sostenidas por madera o acero. Actualmente se hace prefabricado y modular. Se hacen para permitir el acceso de los obreros de la construcción así como al material en todos los puntos de la estructura que está en construcción. Se considera andamio telescópico a aquel andamio que tiene alturas mayores a 1.8 metros.

2.2.8. Sistema de Enfriamiento: Es un sistema constituido de partes y refrigerante que trabajan juntos para controlar la temperatura de operación de un determinado elemento y así obtener un óptimo desempeño.

Para el caso de concreto su objetivo es reducir el fisuramiento causado por retracción térmica debido al vaciado de grande volúmenes de concreto.

2.2.9. Fraguado del Concreto: El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y re cristalización de los hidróxidos metálicos - procedentes de la reacción química del agua de amasado- los óxidos metálicos presentes en el clínker que compone el cemento.

También se denomina fraguado al proceso de endurecimiento de la pasta de yeso o del mortero de cal.

En el proceso general de endurecimiento del hormigón se presenta un estado de fraguado inicial en que la mezcla pierde su plasticidad. Se denomina fraguado final al estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable. El tiempo comprendido entre estos dos estados se llama tiempo de fraguado de la mezcla que se estima en unas diez horas, aunque varía dependiendo de la humedad relativa, temperatura ambiente, etc.

Se pueden añadir aditivos retardantes o acelerantes del fraguado que permiten su mejor manejo en obra.

2.2.10. Curado del Concreto: Se realiza durante el proceso de fraguado del hormigón para asegurar su adecuada humedad, adoptando las medidas oportunas durante el plazo que se establezca en las

especificaciones técnicas, en función del tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente. A los cuatro días el concreto tiene una resistencia adecuada para quitar el encofrado y el periodo de curado debe ser por 28 días para no tener problemas en la resistencia proyectada del concreto. El método ideal es usar el agua para ayudar a la hidratación de la pasta de cemento. Se puede proceder a retener la humedad mediante un material protector adecuado o mediante riego controlado, evitando producir deslavado.

2.2.11. Calor de Hidratación del Concreto: Se llama calor de hidratación al calor que se desprende durante la reacción que se produce entre el agua y el cemento al estar en contacto, el contacto se puede llevar a cabo aún si el agua está en forma de vapor, por lo que es muy importante que el cemento esté protegido del medio ambiente ya sea en sacos o silos, hasta el momento en que se mezcle con el agua.

El calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g. La tabla 1 presenta una apreciación cualitativa de la participación de los compuestos del cemento Portland en la rapidez de la reacción con el agua y el calor de hidratación por unidad de compuesto.

Tabla N°1: Compuestos Principales del Cemento en el Calor de Hidratación

| Propiedad | Participación de cada compuesto | | | |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | C ₃ A | C ₄ AF | C ₃ S | C ₂ S |
| Grado de Reacción | Rápido | Lento | Mediano | Lento |
| Calor Liberado | Grande | Pequeño | Mediano | Pequeño |

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Datos de la Estructura

3.1.1. Ubicación. La presente tesis evaluó los métodos y nuevas tecnologías de la estructura de control del Túnel de Desvío de la Central Hidroeléctrica Chaglla, en el departamento de Huánuco, precisamente en la ubicación descrita en la siguiente tabla:

Tabla N° 02. Ubicación del Proyecto

| Provincia | Distrito | Altitud | Este | Norte |
|-----------|----------|---------------|---------|-----------|
| Pillao | Chinchao | 1,004 m.s.n.m | 408.440 | 8.928.080 |

3.1.2. Clima. Los distritos de Chaglla y Chinchao tienen un clima de acuerdo a su relieve topográfico y orográfico, presentando una diversidad de climas. Pese a su gran diversidad el clima de Chaglla es bastante benigno.

El túnel de desvío se encuentra muy cercano a las orillas del río Huallaga en donde el clima es templado – cálido.

3.1.3. Geografía. Las fuentes de información de la geología local fueron el reconocimiento de las áreas (túnel de desvío) por el geólogo de Intertechne⁹. Se resalta que para mejor conocimiento de los materiales que fueron excavados y de los tratamientos necesarios en las excavaciones subterráneas y superficiales fueron necesarios mapas

⁹ INTERTECHNE: Es la empresa proyectista contratada por la Constructora Norberto Odebrecht para su diseño en el proyecto básico.

geológicos de detalle y la continuidad de las investigaciones, pruebas y ensayos.

De modo general los datos de las pruebas de permeabilidad Le Franc hechas en el aluvión y en las rocas muy fracturadas indican valores de permeabilidad que varían desde 10^{-1} hasta 10^{-3} cm/s, mientras que las pruebas Lugeon realizadas en los macizos rocosos medianamente a muy fracturadas indican permeabilidades más bajas, del orden de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s.

3.1.4. Hidrología: Los estudios hidrológicos para el túnel de desvío fueron realizados basándose en el mayor número posible de informaciones hidrológicas disponibles en la región. Sin embargo, se puede decir que los datos utilizados no son bien representativos de la cuenca y tampoco poseen la calidad necesaria para la realización de tal estudio.

Estas limitaciones están fundamentalmente en los datos fluviométricos, ya que la única estación disponible presenta un periodo considerable sin aforos, está ubicada en una sección inestable y las informaciones existentes acerca de ella son incompletas y divergentes entre sí.

Se buscó solucionar este problema con la utilización de datos pluviométricos de otras estaciones, ya que las estaciones de lluvia están relativamente bien distribuidas en la cuenca, sin embargo, varias de ellas presentan el inconveniente de reportar series cortas en el tiempo y con periodos no coincidentes entre sí.

3.1.5. Obtención de la Serie de Caudales Medios Mensuales: El estudio para la obtención de la serie de caudales medios mensuales en el sitio del Túnel de Desvío fue desarrollado por la empresa DHI bajo el acompañamiento, monitoreo, evaluación y complementación técnicas de Intertechne, razón por la cual Intertechne acepta y concuerda con los

resultados de dicho estudio, siendo éste parte importante de la base para el desarrollo del proyecto. A continuación, se presenta la serie de caudales promedios mensuales obtenida, así como la curva de duración de ellos. La Tabla N° 3 representa los caudales medios mensuales¹⁰

La Tabla N° 3. y la Figura N° 9 se presentan los caudales mensuales de Chaglla para diversas duraciones.

Tabla N° 3: Duración de Caudales Medios Mensuales

| Duración | Caudales (m3/s) |
|-----------------|------------------------|
| 5% | 354.1 |
| 10% | 295.8 |
| 15% | 265.7 |
| 20% | 242.2 |
| 25% | 217.8 |
| 30% | 201.1 |
| 35% | 174.9 |
| 40% | 153.5 |
| 45% | 132.4 |
| 50% | 119 |
| 55% | 101.8 |
| 60% | 85.7 |
| 65% | 71.9 |
| 70% | 61.3 |
| 75% | 52.5 |
| 80% | 46.7 |
| 85% | 42.8 |
| 90% | 38.9 |
| 95% | 33.6 |

¹⁰El detalle de los Caudales Medios Mensuales se presenta en el anexo 1

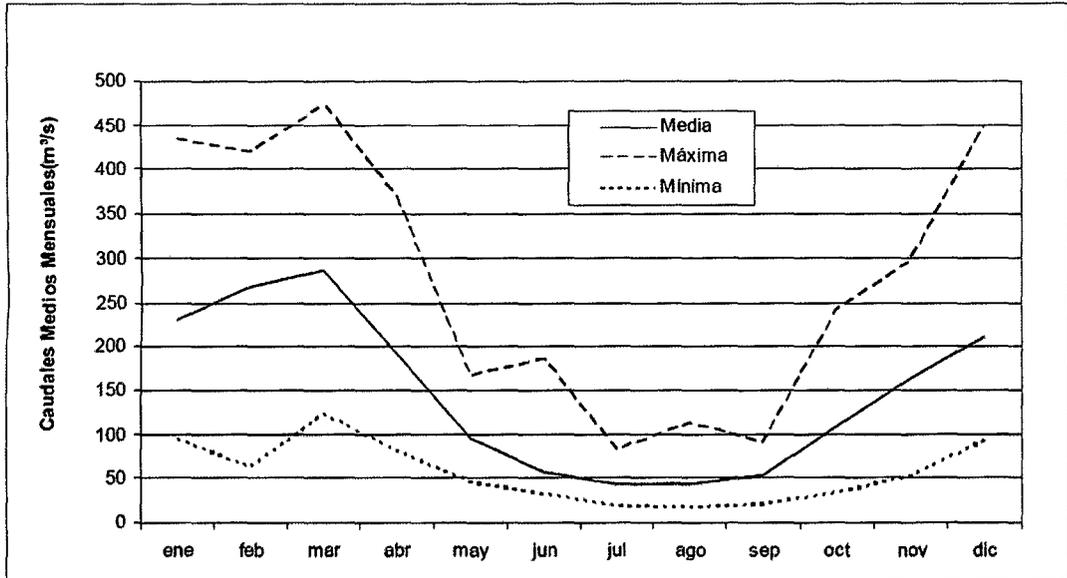


Figura N° 9: Caudales Medios Mensuales en Chaglla

3.2. MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL:

3.2.1. MÉTODO 01: Planificación de Rutas Alternas para llegar al sitio de obra:

Situación Existente: Inicialmente para llegar al túnel de desvío, el proyecto contemplaba realizar un acceso siguiendo el trazo definitivo del proyecto, esto es, que a partir del centro poblado Cayumba se construya un acceso de una longitud aproximada de 30 km por la margen izquierda del río Huallaga.

Ello significaba la construcción de:

- Dos túneles de 918 m y 350 m de longitud.
- Cuatro puentes: Puente Las Palmas, Puente Huallaga 1 y 2 y el Puente Mallacután.

- Una alcantarilla tipo arco: Alcantarilla Jáupar.

Debido a la demanda de tiempo para la construcción de estas estructuras se evaluó la posibilidad de acceder por otra ruta.

Ideas y Acciones Incorporadas: Ante la premura del tiempo para cumplir la meta de lograr el desvío del río en la época previa a su crecida, se tomaron las siguientes acciones:

a. Emplear una trocha carrozable por la margen derecha (tramo I):

Se analizó la posibilidad de emplear una trocha existente por la margen derecha, teniendo en cuenta que ésta estaba en mal estado, el ancho de vía era demasiado estrecho en la mayoría del recorrido y finalizaba en el caserío de Santa Rita Sur a 14 km del sitio de obra, sin embargo se evaluaron todos estos factores y se optó por rehabilitar los 40 km de la trocha con el objeto de iniciar la movilización de los recursos (mano de obra, materiales y equipos) al sitio de obra.

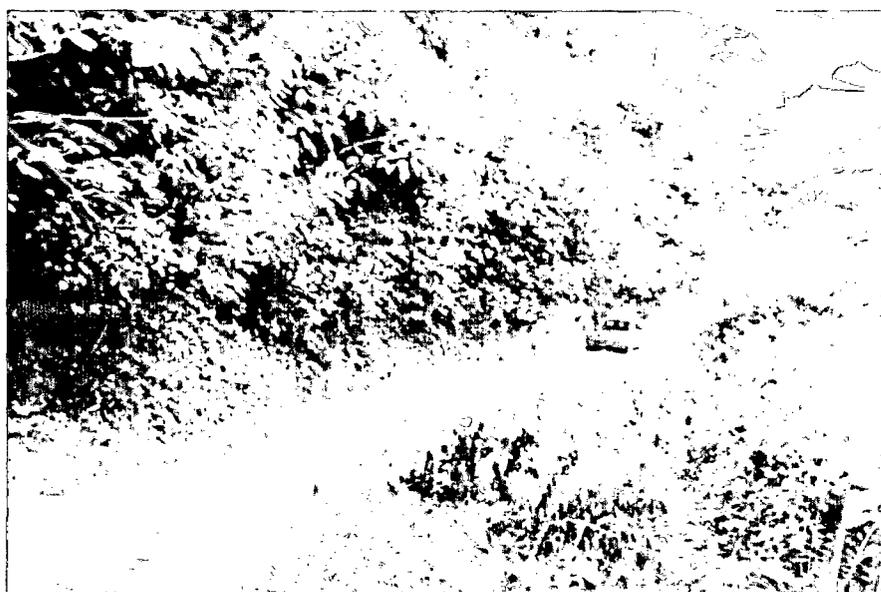


Figura N° 10: Ancho de Vía Inicial. Trocha carrozable Cayumba – Sta. Rita



Figura N° 11: Rehabilitación de la Trocha Carrozable Cayumba – Sta. Rita

- b. Travesía del Río:** Para realizar el cruce del río se construyó un cruce provisional a la altura del caserío de Santa Rita. Éste cruce estuvo conformado por un conjunto de doce alcantarillas de 2.5 m de diámetro, tal como se muestra en la figura N° 12.



Figura N° 12: Travesía del Río Huallaga

- c. **Construcción de Acceso Santa Rita – Túnel de Desvío (Tramo II):** Éste acceso de 14 km de longitud siguió como directriz el trazo del camino definitivo pero con la mitad de ancho de plataforma. A fin de cumplir la meta, decidimos seguir por un trazo más próximo al río y en algunos puntos críticos seguir por la ribera del mismo.



Figura N°13: Construcción del Tramo II – Acceso al Túnel de Desvío.

3.2.2. MÉTODO 02: Cambio en el Proceso de Ejecución Previsto de la Estructura de Control

Situación Existente: Para realizar el desvío del río se tenía que tener culminado el túnel de desvío y por consiguiente la estructura de control. Como vimos en el capítulo I, la estructura se compone de dos partes: la estructura de control propiamente dicha y el pozo vertical, la primera inmersa totalmente dentro del túnel horizontal y la segunda anclada dentro del macizo rocoso de forma vertical.

Para iniciar la excavación vertical del pozo, (de la elevación 1060m a la elevación 1021m), era necesario contar con un acceso para llegar a la elevación 1060m.

La excavación vertical se realizaría mediante el sistema de *Raise Boring* empleando un equipo SBM 700 con un peso de 13,650 kg.; por lo cual el acceso debía de cumplir con todas las características necesarias para garantizar la seguridad durante el traslado, la instalación y proceso operativo del equipo, además del abastecimiento de agua y energía para su funcionamiento.

En tal sentido y partiendo desde la elevación 1005m, se precisaba de un acceso que barriera una altura de 55 metros, que aunado a las condiciones topográficas, hacía de la tarea una actividad con un gran potencial de riesgo y demanda de tiempo.

La metodología prevista en el cronograma contractual era la siguiente:

- Iniciar la excavación del portal de la chimenea vertical (shaft), desde la elevación 1130m a la elevación 1060m, a través de un sistema de banquetas para uniformizar el talud.
- A partir de la elevación 1060m a la elevación 1006m, se ejecutaría la excavación correspondiente al portal de entrada del túnel de desvío, tal como lo muestra la figura N° 14.



Figura 14: Metodología Prevista para la excavación de los portales de entrada del pozo vertical y del túnel de desvío

La secuencia de las actividades mencionadas permitiría desviar el río el 01 de mayo del 2013.

La construcción de las ataguías (estructura preliminar al desvío del río) estaba prevista de mayo a noviembre del 2013 y su conclusión permitiría retomar los trabajos de concretos en la chimenea vertical de la cota 1019.50 a la cota 1060.00, por lo que las actividades del Túnel de Desvío estaban planificadas para 28 meses.

Ideas y Acciones Incorporadas:

División de la Estructura: Debido a las condiciones mencionadas anteriormente se decidió dividir la construcción de la estructura en dos etapas: etapa 01: La estructura de control y etapa 02: el pozo vertical, posponiendo la etapa 02 para los meses siguientes de acuerdo al avance de la obra.

Previamente se coordinó con el área de ingeniería y con el proyectista Intertechne a fin de garantizar que el funcionamiento de la estructura no se viera afectado.

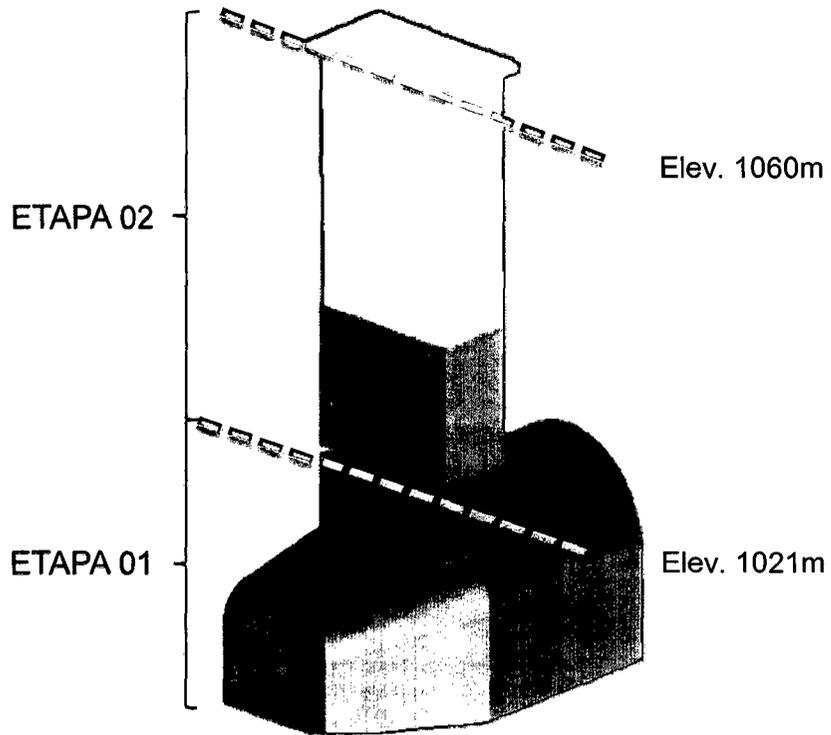


Figura N° 15: Proceso de ejecución de la estructura de control

DEL TÚNEL DE DESVÍO: Para llegar al eje del túnel de desvío, se ejecutó una ventana de acceso.

Inicialmente la ubicación de la ventana se encontraba a 80 m del pozo vertical, sin embargo se optó por desplazar la ventana a 125 m, provocando que se realice una reposición de concreto que significó la construcción de una cuña de concreto ejecutable en el plazo disponible.

- **Metodología de la Excavación Subterránea:** Para lograr la excavación del túnel en menor tiempo se atacaron tres frentes paralelos: 1 a la salida del túnel (aguas arriba) y 2 que se iniciarían cuando la ventana de acceso llegara al eje del túnel (aguas arriba y aguas abajo) representado en la figura 16.

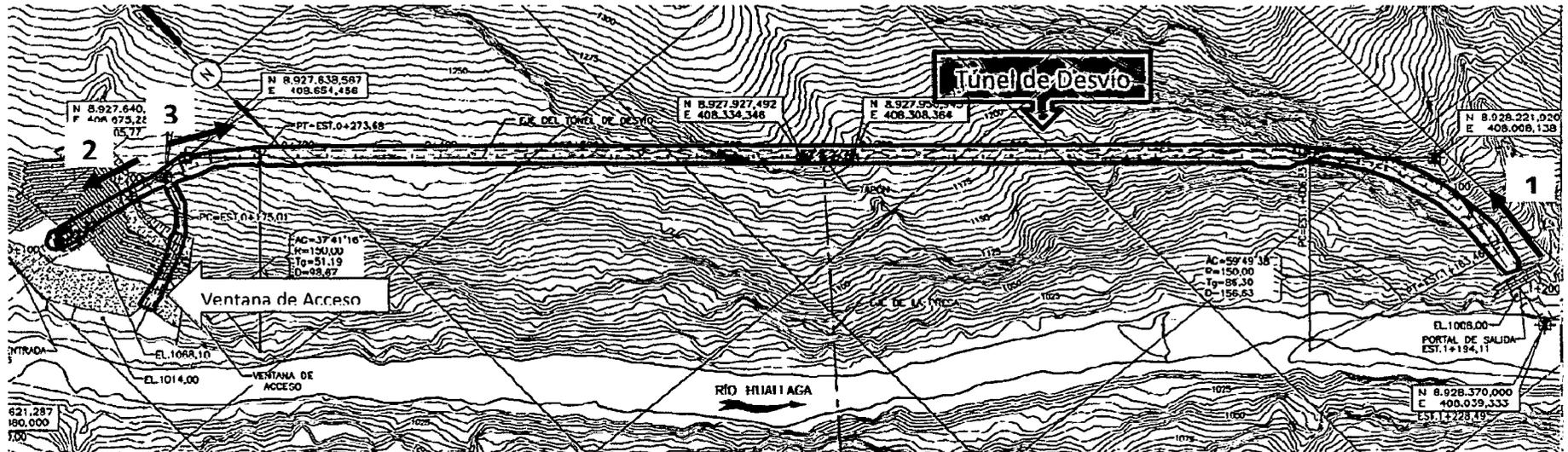


Figura 16: Metodología de Ataque para la Excavación Subterránea del Túnel de Desvío

El diseño de malla de voladura se realizó en base a una voladura controlada para que cada detonación no afecte a la estructura de control.

Para la excavación de los portales se siguieron las partidas preliminares:

- a. **Desbroce:** Ésta actividad consiste en retirar el material vegetal o top soil del área de trabajo, todo el material orgánico es depositado en botaderos debidamente conformados. Se emplearon los siguientes recursos:

Mano de Obra: Capataz y Operador de Equipos

Equipos: Excavadora sobre orugas 336 (30 – 34 Ton), Cargador Frontal 938 y Camión Volquete Scania 6x4(Tolva 15 – 16 m³)

- b. **Excavación de Material Común o Roca Fija:** De acuerdo al sistema de banquetas (figura 17) fue necesario excavar la roca, para ello se usaron taladros percutores con ayuda de perforadoras neumáticas (track – drill), adicionalmente a los recursos empleados en la actividad anterior.

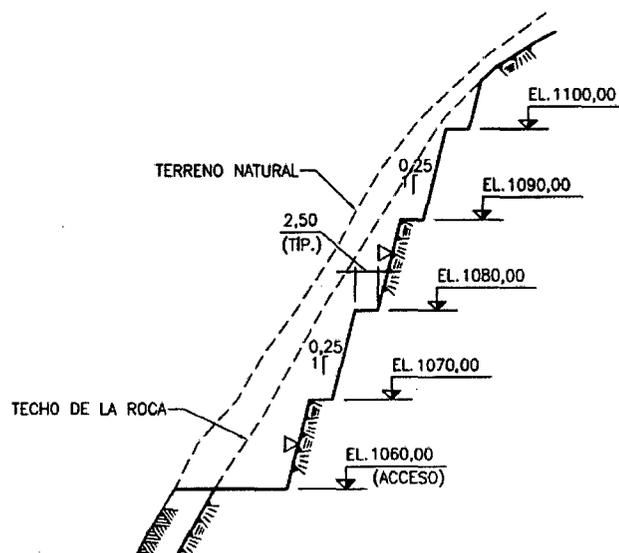


Figura N° 17: Sistema de Banquetas Portales

- c. **Sostenimiento del Talud:** Una vez conformada la banqueta, se empleó concreto lanzado (shotcrete) revistiendo y sellando toda el área. En algunos casos fue necesario el empleo de mallas electrosoldadas y de pernos de anclaje (barras helicoidales de 1" pulg. De diámetro y una longitud de 2.5 m).

d. Excavación Subterránea: La excavación subterránea es un proceso repetitivo, el ciclo de excavación es como sigue:

- Marcación Topográfica de la Malla de Voladura,
- Perforación y Carguío,
- Detonación o disparo,
- Desquinche (remoción de los elementos rocosos pseudo-adheridos a las paredes del túnel)
- Remoción y Carguío del material excavado.
- Transporte del Material Excedente
- Sostenimiento de las paredes del túnel: Shotcrete preventivo, Cimbras Metálicas para obras subterráneas (de acuerdo al tipo de roca), malla electrosoldada y pernos de anclaje.

Materiales:

- Barra de perforación R38 y T38
- Dinamita de 1 ¼" y 2" al 65%
- Emulsión 7/8" al 65%
- Gelatina especial al 65%
- Cordón detonante 4P y 5P
- Adaptador piloto
- Herramientas y utensilios

e. Equipos:

- Jumbo electro hidráulico de dos brazos (DT820 – 2EC)
- Cargador Frontal CAT sobre llantas de 3.0 y 5.0m³
- Camión Volquete Scania 6x4 15-16m³
- Excavadora Hidráulica CAT de llantas de 16-18T
- Perforadora Neumática de Orugas
- Manipulador Telescópico Telehandler TL 943
- Cargador Continúo Haggloader

DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL: Finalizado el frente de excavación para iniciar los trabajos correspondientes a las obras civiles de la estructura de control se tuvo que realizar una sobre-excavación debido a que las dimensiones de la estructura son mayores que la sección del túnel.

a. Estabilización del Suelo de Fundación: La estructura es una estructura de 7,058.51m³ de concreto¹¹ estructural con una resistencia equivalente a 25 Mpa. Por lo tanto el suelo de fundación debe garantizar la resistencia para soportar todo el peso de la estructura.

Para estabilizar el suelo se usó una cortina de inyecciones, las cuales tuvieron una longitud variable de 2.5m a 4.5m, se generó una malla de diseño de con una espaciamento de 2 metros.

b. Obras Civiles:

Una vez estabilizado el suelo se procedió al armado y vaciado de la losa de fondo

- **Acero:** La habilitación del acero se realizó en el taller de acero, ubicado a 5km de la ventana del túnel de desvío, en donde se encuentran también el taller de encofrado y la planta procesadora de concreto, así como el almacén general del proyecto.

Debido a la gran cantidad de acero necesario para la estructura de control, se prescindió que el corte y doblado se iniciara en el taller con un par de meses de anticipación, a fin de abastecer y no generar retrasos durante la construcción de la estructura.

¹¹ Ver anexo 2: Metrados de la estructura de control

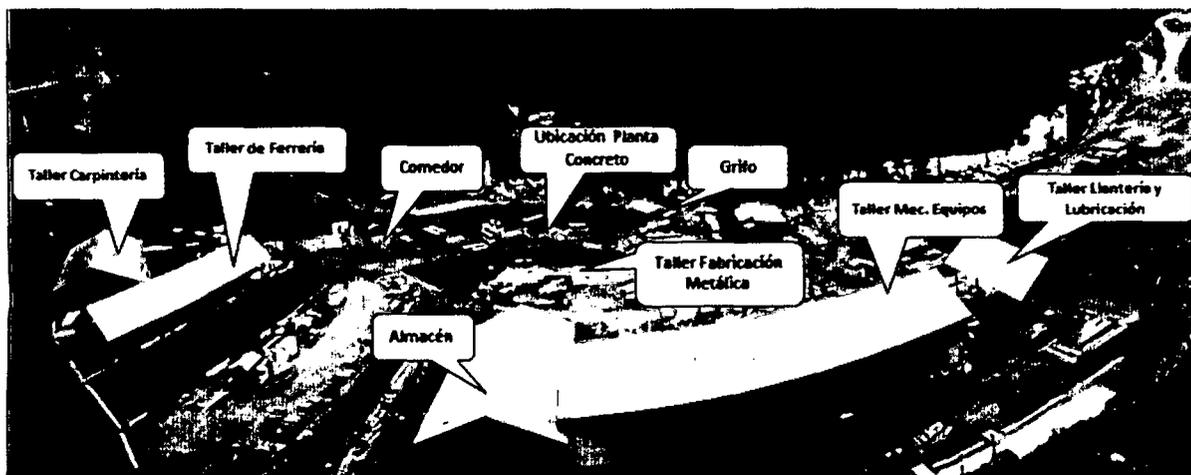


Figura N° 18: Ubicación de los Talleres y Planta de Concreto

La colocación y amarre del acero se vio mermada debido al diámetro del mismo, ($1\frac{3}{8}$ pulgadas), por lo que se organizaron cuadrillas de 10 personas cada una para las paredes laterales y pilar central.



Figura N° 19: Colocación del acero - Estructura de Control

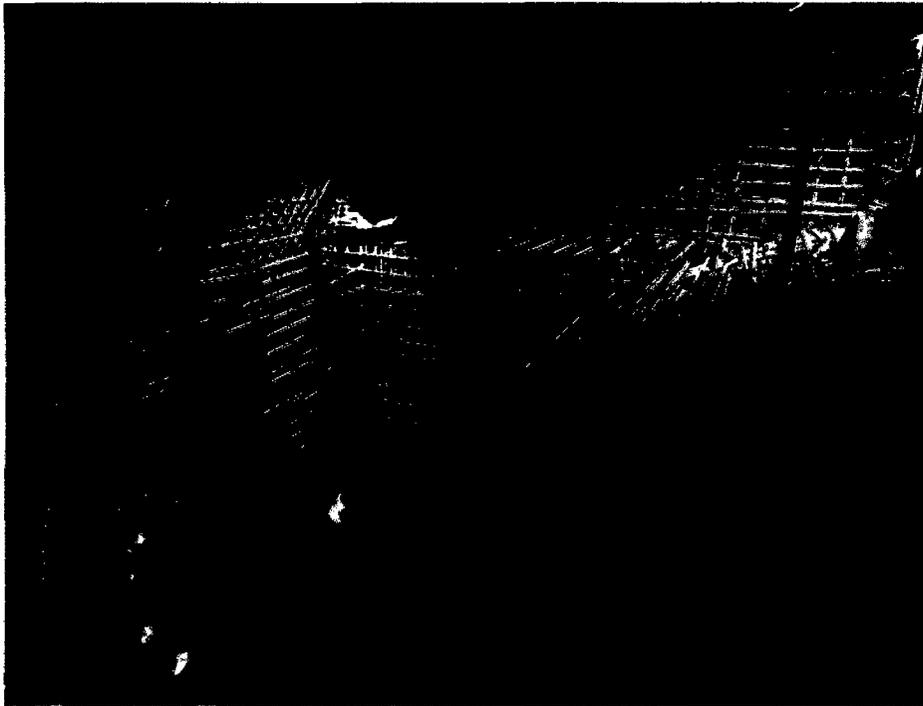


Figura 20: Armado de la Bóveda de la Estructura de Control

Para el caso del armado de acero la altura fue un factor bastante influyente para la determinación de la productividad, llegando a la siguiente relación:

$$\mathbf{+ Altura = - Productividad}^{12}$$

Esto se debe principalmente a que inicialmente cuando la altura de armado de acero es menor, tenemos mayor accesibilidad y manejo de materiales, el tiempo de transporte desde un punto fijo al lugar de armado también es menor, sin embargo cuando sucede lo contrario, al tiempo de transporte se incrementa ya que se añade a éste el tiempo de izaje del material a través de cuerdas.

Utilizando los diseños aprobados de ejecución, el equipo de topografía definió los puntos principales (alineación y elevaciones), las cuales son verificadas antes, durante y después de la colocación del acero.

El montaje consistió básicamente en la distribución y amarre del acero habilitado por posiciones, cantidades y diámetros, espaciamientos y recubrimientos siguiendo los parámetros indicados en los diseños de armaduras.

¹² Ésta relación es aplicable también al encofrado y al vaciado del concreto.

La tolerancia en el espaciamiento indicado, desde que la sección total de armadura estuvo de acuerdo al diseño fue 5mm.

3.2.3. MÉTODO 03: Empleo de Encofrado deslizante con andamios telescópicos:

La estructura de control posee una altura equivalente de 19.5 m contados a partir de la cota de fondo hasta el inicio de la bóveda.

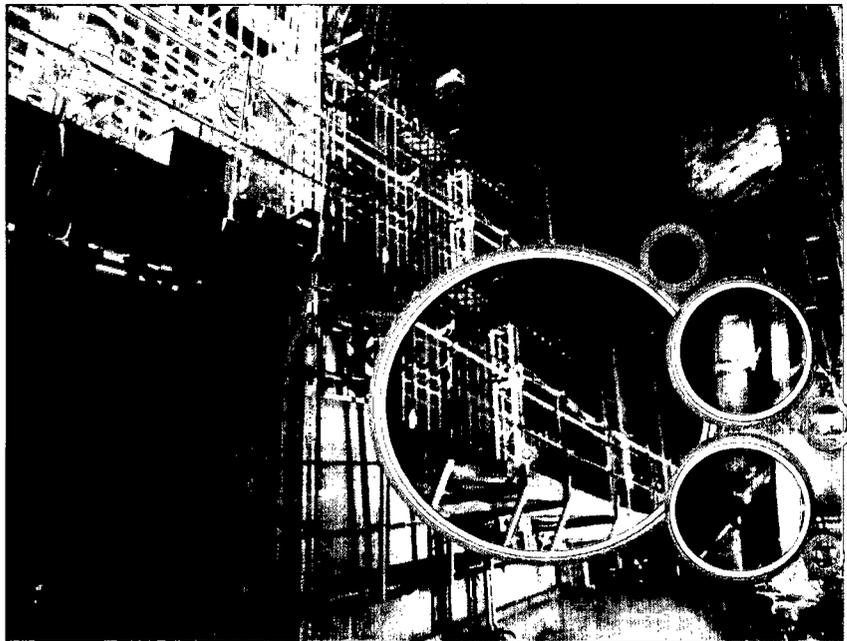
Uno de los métodos en los cuales se sustenta la presente tesis, es el empleo de los encofrados deslizantes con una variante; el andamio telescópico.

Este sistema se crea con el fin de cumplir con el plazo previsto, pues permite optimizar el tiempo y elevar los niveles de seguridad.

Situación Existente: Los encofrados deslizantes generalmente utilizados se componen por el encofrado mismo (metálico), soporte de las guías y un andamio para el acabado el cual se instala después de haber alcanzado una altura de 2.60m habiendo la necesidad de paralización del concretado y el tratamiento, para luego retomar las labores. Con esto existía una pérdida de productividad para el lanzamiento del concreto.

Ideas y acciones incorporadas:

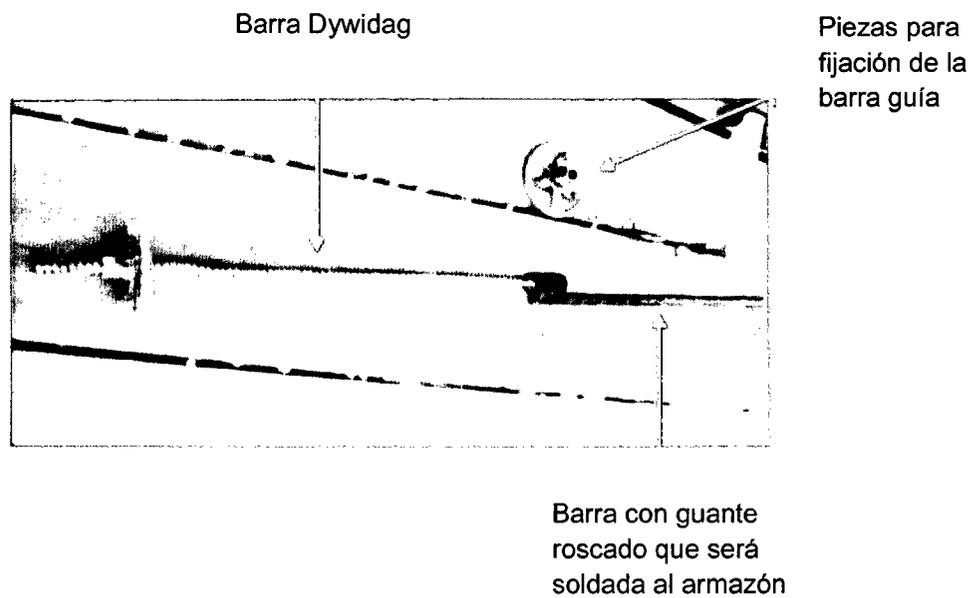
El andamio para acabado fue diseñado y anclado al encofrado deslizante, con un dispositivo de bloqueo. Con este sistema no hay necesidad de paralización del encofrado para el montaje del andamio cuando se desliza 2.6m pues acompaña debido al trabamiento en la parte superior del encofrado. Este método fue desarrollado con la intención de mejorar la producción, reaprovechar los materiales y también por seguridad.



Parte superior
de la barra para
trabamiento

Pieza de
encofrado
para trabar la
barra

Figura N° 21: Encofrado deslizante con andamio telescópico



Barra Dywidag

Piezas para
fijación de la
barra guía

Barra con guante
roscado que será
soldada al armazón

Figura N° 22: Sistema de Trabamiento para incrementar la seguridad por medio de barras DYWIDAG



Figura N° 23: Sistema de Trabamiento

Con este sistema de tornillos de fijación a través de los andamios de acabados, la reutilización de madera es hasta 10 veces y se puede utilizar nuevamente en otros bloques. Con esto es posible mantener la plataforma en buen estado evitando el uso de residuos.

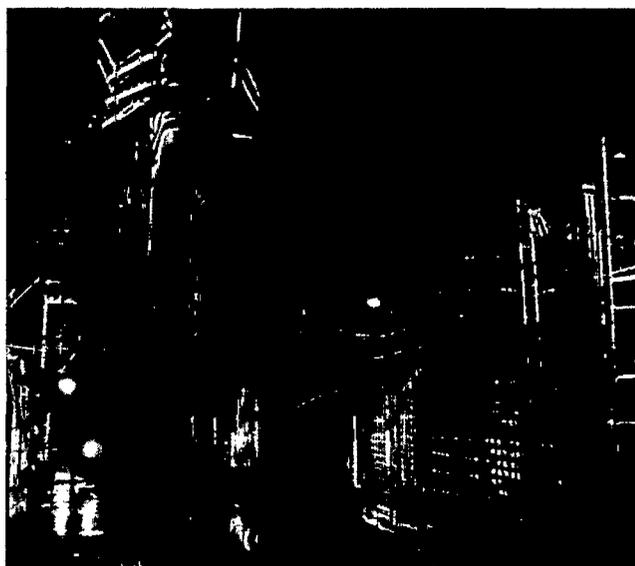


Figura N° 24: Limpieza de andamios de acabado

Este método requiere una planificación de la cantidad de equipos necesarios para la capa a concretar, siendo éstos equipos grúas, camiones mezcladores, gatos hidráulicos y equipos de lanzamiento de concreto.

El tiempo de deslizamiento varía de acuerdo al tamaño de la estructura, el deslizamiento máximo promedio es de 20cm/h.



Figura N° 25: Encofrado Deslizante Estructura Control con Andamio Telescópico - Túnel de Desvío

3.2.4. TECNOLOGÍAS: SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO:

Debido al calor de hidratación de la mezcla, la temperatura del concreto incrementa, esto es normal dentro del proceso químico de la mezcla, sin embargo cuando se trata de estructuras confinadas dentro de un macizo rocoso (subterráneas) el incremento de la temperatura es mayor debido al calor que se desprende de la roca, por lo que se tuvo que pensar qué sistema de enfriamiento usar para controlar la temperatura.

La temperatura del concreto, de acuerdo a los estándares de calidad establecidos no debía ser mayor a 30 °C.

- a. **Serpentín:** Diseñado con tubos SCH – 20 de ½" de diámetro, pared fina dependiendo de la disposición de las barras de acero y sin afectar el diseño estipulado en los planos. Estas tuberías fueron empleadas para bombear agua durante el vaciado de concreto con una entrada y salida quedando embebidas en la estructura.

La colocación de concreto a través de la armadura fue bastante cuidadosa, para minimizar la segregación del agregado grueso y el desplazamiento de las barras de acero, fue colocado en capas continuas tal como lo especifican los planos.

La colocación de las nuevas subcapas se hizo durante el período en el que el vibrador pudo penetrar por su propio peso la sub capa inferior con el objetivo de no formar una junta que requiera tratamiento.

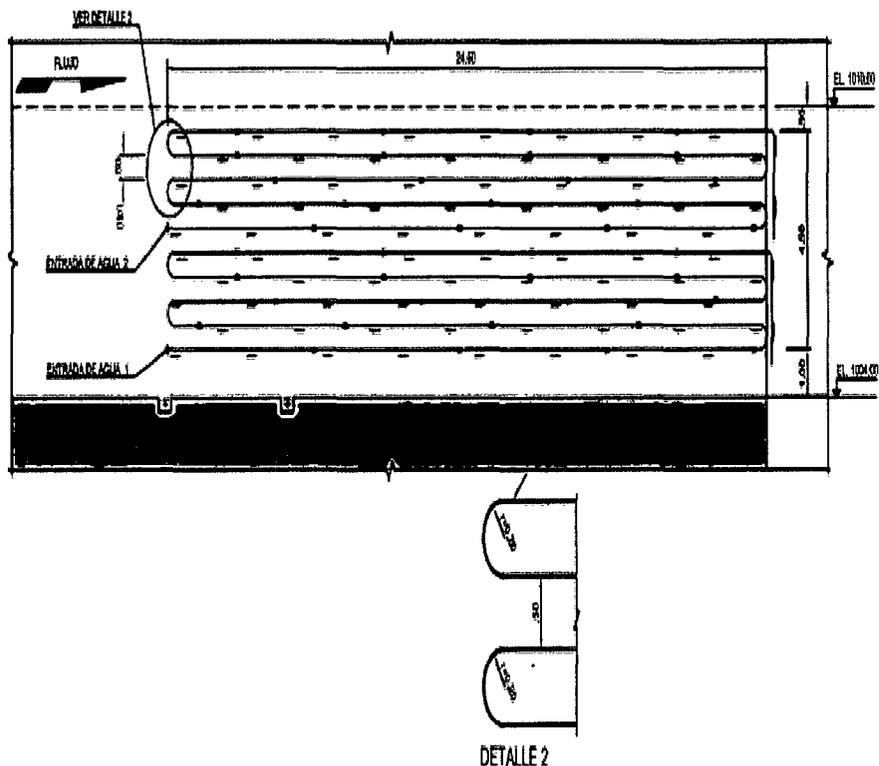


Figura N° 26. Diseño del Serpentin

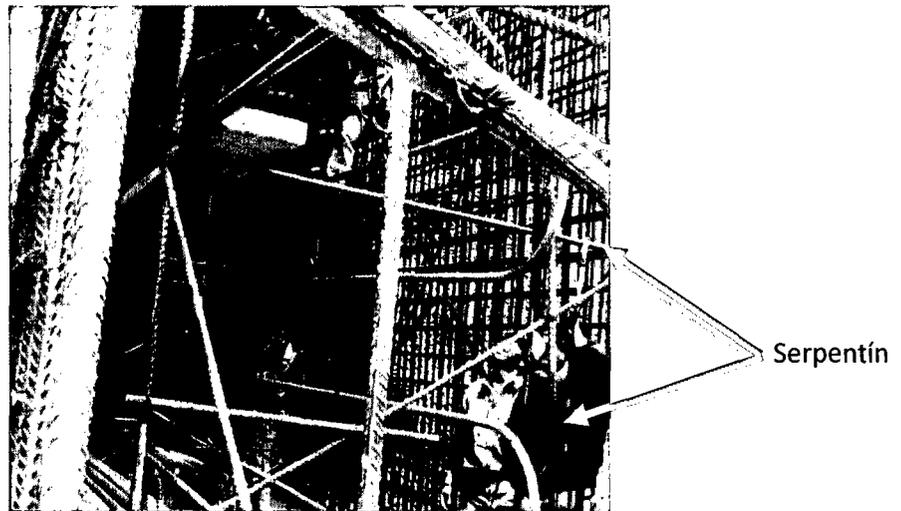


Figura N° 27. Colocación del Serpentin

- b. Aspersores de neblina de agua:** Para evitar un rápido secado de la superficie de concreto recién colocado, sobre todo debido a la fuerte temperatura se utilizaron aspersores de neblina de agua directamente sobre estas superficies.

Para la estructura se preparó un plan de vaciado de concreto, teniendo en cuenta el plazo de ejecución y de forma que se minimicen las retracciones térmicas e hidráulicas del concreto.

Se realizó la compactación del concreto al máximo de su densidad y se efectuó por vibración mecánica, los vibradores fueron accionados por electricidad con una velocidad de 7000 revoluciones por minuto ya que las agujas eran de 10 cm de diámetro.

El curado del concreto comenzó tan pronto como el concreto había endurecido lo suficiente para prevenir cualquier daño que pudiera ocasionar el humedecimiento de sus superficies.

El agua utilizada para el curado satisfacía todos los requerimientos de las especificaciones para el agua utilizadas en las mezclas de concreto.

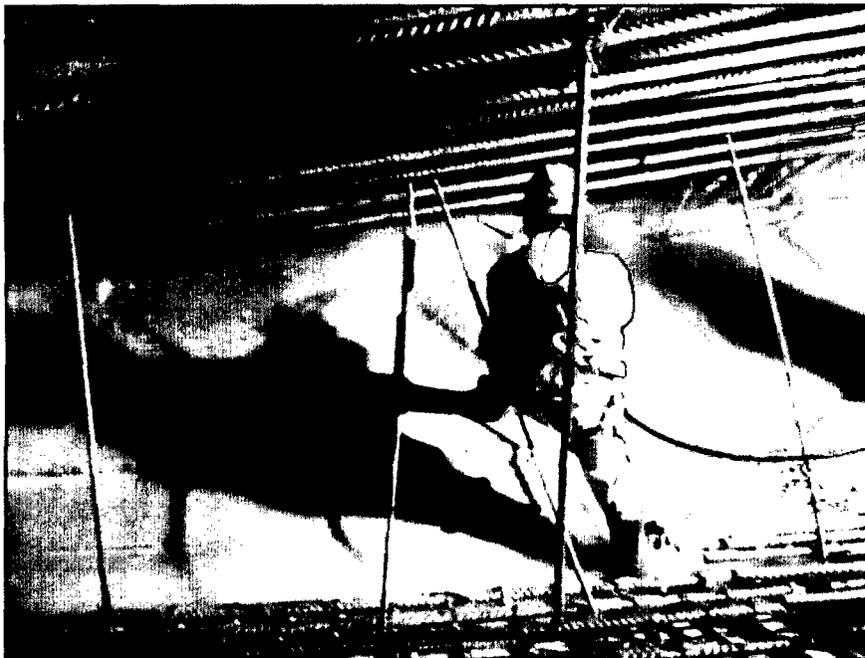


Figura N° 28: Empleo de aspersores de neblina de agua

Las mangueras para el curado del concreto estaban fijadas en el sistema del encofrado:

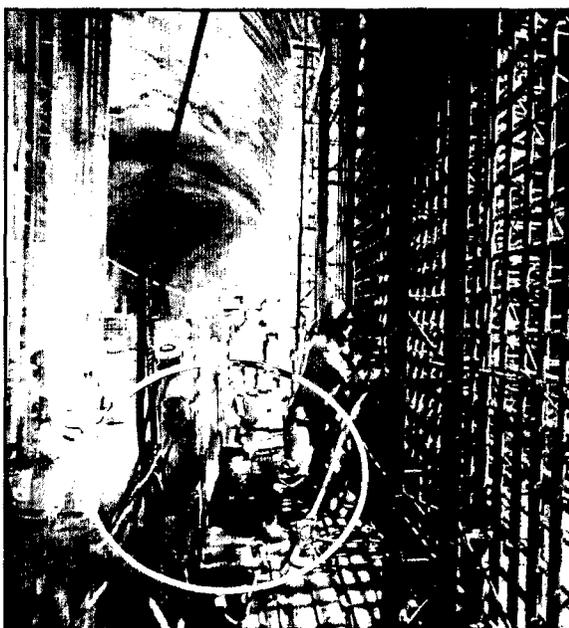


Figura N° 29: Anclaje de Mangueras para curado en el Andamio

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de Investigación

Por el tipo de investigación, la presente tesis reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, pues los resultados buscan aportar una solución en la construcción de estructuras ligados directamente cumplimiento de plazo y calidad.

3.3.2. Diseño de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un diseño exploratorio siendo una investigación cualitativa. Lo que se desea es conocer y definir detalladamente los métodos y tecnologías durante las etapas del proceso constructivo de la estructura de control de la central hidroeléctrica Chaglla mediante el contacto y la observación directa en campo.

Cada día se presentan nuevas situaciones que hay necesidad de explorar a fin de que la ingeniería rediseñe sus estrategias constructivas, sin embargo es un tema que ha sido poco estudiado y las investigaciones son escasas.

3.3.3. Procedimientos y Técnicas de Recolección de datos

- Observación Directa
 - Participar en el proceso de construcción de la estructura de control.
 - Registrar todos los hechos y avances en la ejecución de la obra.

- Secuelas de la Observación Directa
 - Registro fotográfico.
 - Obtención de documentos del proyecto.

- Instrumentos

- Cámara fotográfica.
- Memoria tipo SD
- Cuaderno de apuntes y lapiceros

3.3.4. Técnicas de procesamiento y Análisis de datos

a. La información obtenida se la utilizará de la siguiente manera:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir limpieza de información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente entre otras.
- Tabulación o realización de cuadros según variables de la hipótesis que se propuso.
- Representación gráfica.
- Establecer conclusiones

b. Programas

Office 2010: Microsoft Word, Microsoft Excel, MS Project

3.3.5. Definición y Operacionalización de Variables

De acuerdo a la hipótesis planteada en la presente tesis, se definen las siguientes variables:

- a. Variables Independientes: Se consideran como variables independientes a *Métodos* y *Tecnologías* ya que son las causantes y explican o influyen en el proceso constructivo de la estructura para el cumplimiento de plazo y calidad.
- b. Variables Dependientes: Se consideran como variable dependiente al *Plazo* ya que estará afectado, modificado o cambiado por los métodos y tecnologías empleadas.

Tabla N° 04 Operacionalización de variables

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | DEFINICIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES |
|--------------------|------------------|---|--|---|
| Métodos | Independiente | <ul style="list-style-type: none"> - Medio utilizado para llegar a un fin. - Vía o camino para concluir una actividad | <ul style="list-style-type: none"> - Planificación de rutas alternas para llegar al sitio de obra. | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo medido en horas y minutos para llegar al área de trabajo. |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> - Cambio en el proceso de ejecución previsto con el real (división estructural) | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo medido en días desde la fecha de inicio y llegada en función con el cronograma general. |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> - Utilización del encofrado deslizante con andamios telescópicos. | <ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de desplazamiento del sistema de encofrado. |
| Nuevas Tecnologías | | <p>Conjunto de conocimientos técnicos y sistemáticos que permiten obtener un bien o servicio</p> | <p>Sistemas de enfriamiento del concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Serpentin - Aspersores de Neblina | <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura del concreto. - Evaluación de la aparición de fisuras (en caso de existir) |
| Plazo | Dependiente | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo previsto para poder ejecutar la construcción de la estructura de control. - Tiempo previo a la crecida del río. | <ul style="list-style-type: none"> - Trabajo en obra desde abril del 2012 a agosto del 2012 | <ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de las metas diarias en base a la producción realizada. - Horas Maquina - Horas Hombre |

3.4.2. Optimización del tiempo al cambiar el proceso de ejecución de la Estructura de Control

El tiempo de ejecución previsto con el tiempo de ejecución realizado durante la construcción de la estructura de control fueron diferentes, siendo éste último menor, tal como lo muestra la tabla N° 06

Tabla N° 06: Tiempos de Situación existente Vs Idea Incorporada (Método 02)

| Situación existente | Idea incorporada |
|--|--|
| Construcción de la estructura previsto | División de la estructura en dos etapas |
| - Tiempo estimado de construcción: 2 años 6 meses | - Tiempo Realizado de construcción: 1 año 3 meses |

3.4.3. Optimización del tiempo y los recursos empleados mediante el uso del Encofrado Deslizante con Andamio Telescópico

- Productividad Alcanzada: Se evaluó la productividad, calidad y racionalización de los recursos que fueron empleados en este método de andamio telescópico, que no necesita de paralización del encofrado después del deslizamiento inicial de 2.60 m para el montaje de los andamios, a través del mejoramiento de los índices ejecutados.

Vamos a usar como ejemplo el concretado de la pared lateral para comprobar las velocidades reales alcanzadas:

Tabla N° 07: Productividad Alcanzada con Encofrado Deslizante – medición 1

| ELEMENTO | PARED VERTICAL | | | | VELOCIDAD META | | 20.00 cm/h | |
|------------|----------------|---------------|------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| ELEVACIÓN | INICIAL | 1004.00 m | ACTUAL | 1006.60 m | | | | |
| | FINAL | 1006.60 m | | | | | | |
| FECHA | TURNO | ELEVACION (m) | AVANCE (m) | | HORAS TRAB. (h) | | VELOCIDAD (cm/h) | |
| | | | Intervalo | Acumulado | Intervalo | Acumulado | Intervalo | Acumulado |
| 16/04/2012 | Día | 1,004.53 | 0.53 | 0.53 | 3.32 | 3.32 | 16.06 | 16.06 |
| 16/04/2012 | Día | 1,004.73 | 0.20 | 0.73 | 1.50 | 4.82 | 13.33 | 15.21 |
| 17/04/2012 | Día | 1,005.02 | 0.29 | 1.02 | 2.25 | 7.07 | 12.84 | 14.46 |
| 17/04/2012 | Noche | 1,005.82 | 0.80 | 1.82 | 6.97 | 14.04 | 11.48 | 12.98 |
| 18/04/2012 | Día | 1,006.09 | 0.27 | 2.09 | 2.20 | 16.24 | 12.12 | 12.86 |
| 18/04/2012 | Día | 1,006.34 | 0.26 | 2.34 | 3.19 | 19.43 | 8.01 | 12.07 |
| 18/04/2012 | Noche | 1,006.60 | 0.26 | 2.60 | 1.56 | 20.99 | 16.38 | 12.39 |

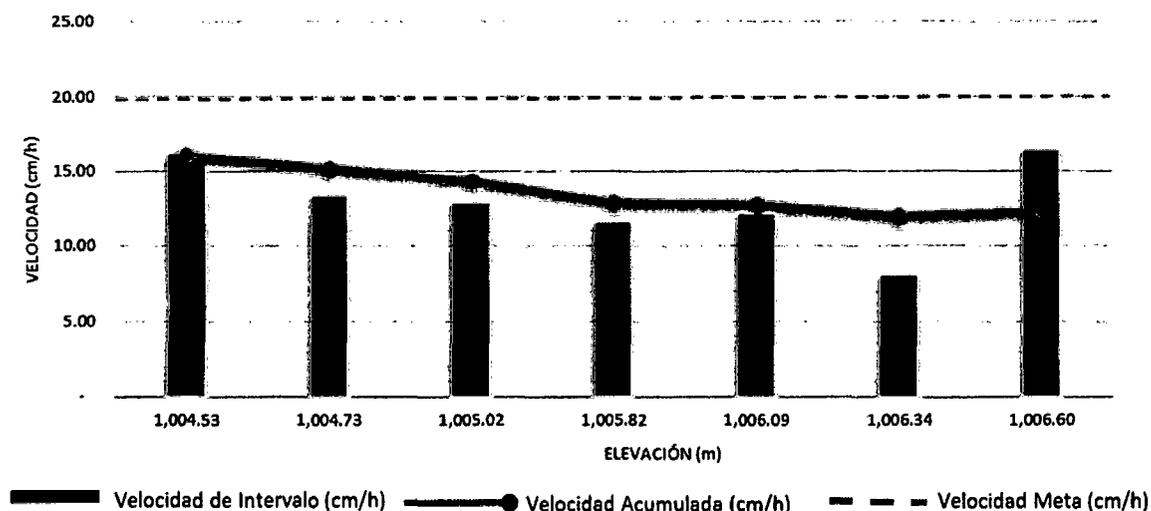


Figura N° 31: Velocidad de intervalo, Acumulada y Meta – Medición 01

Tabla N° 08: Velocidad mínima, máxima y acumulada en pared lateral de la estructura de control

| Velocidad (cm/h) | | |
|------------------|------------|------------|
| Mínima | Máxima | Acumulada |
| 8.01 cm/h | 16.38 cm/h | 12.39 cm/h |

Como se puede percibir la velocidad alcanzada fue una velocidad acorde con los parámetros establecidos del proyecto, teniendo apenas unos días 16/04/12 a 18/04/12, reflejándose en un cambio significativo en la producción.

Tabla N° 09: Productividad Alcanzada Encofrado Deslizante – medición 2

| ELEMENTO | PARED VERTICAL | | | |
|-----------|----------------|-----------|--------|-----------|
| ELEVACIÓN | INICIAL | 1006.60 m | ACTUAL | 1010.00 m |
| | FINAL | 1010.00 m | | |

| | |
|----------------|------------|
| VELOCIDAD META | 20.00 cm/h |
|----------------|------------|

| FECHA | TURNO | ELEVACION (m) | AVANCE (m) | | HORAS TRAB. (h) | | VELOCIDAD (cm/h) | |
|------------|-------|---------------|------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | Intervalo | Acumulado | Intervalo | Acumulado | Intervalo | Acumulado |
| 19/04/2012 | Día | 1,006.78 | 0.18 | 2.78 | 1.70 | 22.69 | 10.46 | 12.24 |
| 19/04/2012 | Día | 1,007.04 | 0.27 | 3.04 | 2.33 | 25.02 | 11.44 | 12.17 |
| 19/04/2012 | Noche | 1,007.85 | 0.81 | 3.85 | 7.38 | 32.40 | 10.92 | 11.88 |
| 20/04/2012 | Día | 1,008.18 | 0.33 | 4.18 | 4.20 | 36.60 | 7.80 | 11.41 |
| 20/04/2012 | Noche | 1,008.80 | 0.62 | 4.80 | 4.86 | 41.46 | 12.80 | 11.58 |
| 21/04/2012 | Día | 1,009.20 | 0.40 | 5.20 | 2.15 | 43.61 | 18.60 | 11.92 |
| 21/04/2012 | Noche | 1,010.00 | 0.80 | 6.00 | 5.33 | 48.94 | 15.01 | 12.26 |

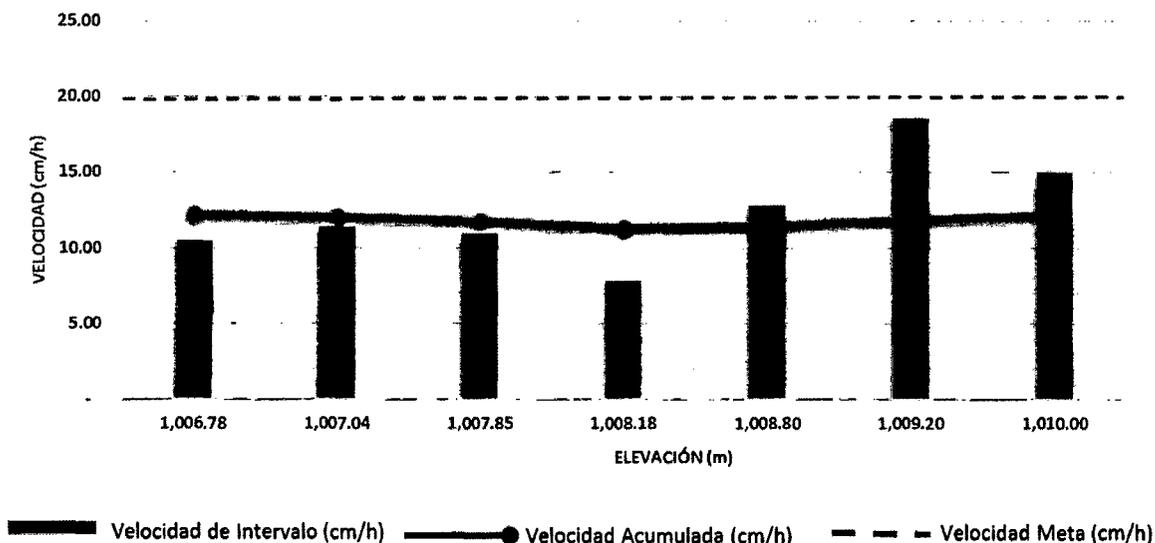


Figura N° 32: Velocidad de intervalo, Acumulada y Meta – Medición 02

Tabla N° 10: Velocidad mínima, máxima y acumulada en pared lateral de la estructura de control

| Velocidad (cm/h) | | |
|------------------|------------|------------|
| Mínima | Máxima | Acumulada |
| 7.80 cm/h | 18.60 cm/h | 12.26 cm/h |

Durante la segunda toma de datos en campo la velocidad alcanzada fue mejor en comparación con el concretado en la etapa anterior, por lo tanto se obtuvo mayor área concretada, esto se debe a que no existieron muchas paralizaciones, básicamente por voladura.

Debido a la baja utilización de grúas en la nueva implementación aplicada la probabilidad de accidentes también disminuyó.

De acuerdo con los resultados mostrados, la velocidad varió de 7.80 cm/h a 18.60cm/h lo que permitió la optimización del tiempo, logrando el concretado en menor tiempo de lo previsto. Es importante acotar que las interferencias (voladura, movilización de equipos, de personal) afectarán directamente a los desplazamientos del encofrado.

La implementación del andamio telescópico permitió que las maderas sean fijadas con tornillos junto a la estructura del mismo, reaprovechándolas en otras camadas a ser concretadas. La madera está siendo aprovechada 10 veces de acuerdo con los índices alcanzados:

Tabla N° 11: Índice Realizado e Índice Previsto del encofrado

| Insumo | UMed | Indice Realizado | Indice Previsto |
|-----------------|------|------------------|-----------------|
| Madera tornillo | m3 | 0.000611 | 0.004200 |

Del cuadro anterior notamos que se tenía previsto 0.0042 m³ por cada unidad (m²) de encofrado, sin embargo se llegó a emplear 0.0006 m³ por unidad (m²) de encofrado, significando un ahorro en los recursos y por consiguiente en el costo.

Con la implementación del andamio telescópico en la forma deslizante, fue posible disminuir el índice de mano de obra de forma expresiva, debido a que el sistema desarrollado fue de un grado de dificultad menor en función con el encofrado convencional por lo que fue posible economizar.

Tabla N° 12: Comparativo de cantidad de personal empleado

| Mano de Obra | Antes | Después |
|-------------------------|------------------------|----------------------|
| | Encofrado Convencional | Encofrado Deslizante |
| Encargado de Producción | 1.00 | 1.00 |
| Capataz | 1.00 | 1.00 |
| Operario Carpintero | 35.00 | 15.00 |
| Oficial Carpintero | 6.00 | 6.00 |
| Soldador I | 3.00 | 1.00 |

Las formas deslizantes tienen como meta un deslizamiento de 20cm/h y de 15 cm/h para bloques de grandes dimensiones, es posible manejar ésta velocidad de acuerdo con el número de bombas de lanzamiento de concreto disponibles en el vaciado.

El impacto en el resultado global, envuelve diversos factores por mencionar algunos: seguridad, medio ambiente y costos. Por lo que podemos afirmar que el encofrado deslizante con andamios telescópicos permite optimizar los recursos tanto en mano de obra y materiales.

3.4.4. Control de la temperatura del concreto a través del uso del serpentín como sistema de enfriamiento

La metodología que permitió controlar la temperatura del concreto durante el vaciado masivo de la estructura de control, fue el empleo del serpentín.

El tiempo máximo admisible entre la mezcla de concreto y su colocación fue determinado de manera experimental, sin embargo como orientación preliminar se tenía que éste tiempo no podía ser superior a 60 minutos para el transporte con agitación y 30 minutos para el transporte sin agitación, para concreto sin aditivo o retardador de fraguado.

La temperatura del concreto, de acuerdo a los estándares de calidad establecidos no debía ser mayor a 30 °C¹³

Para la estructura se preparó un plan de vaciado de concreto, teniendo en cuenta el plazo de ejecución y de forma que se minimicen las retracciones térmicas e hidráulicas del concreto.

El resultado del sistema de enfriamiento se vio después del curado ya que no se presentaron fisuras estructurales. La evaluación de los estándares de calidad fue realizada por el área de calidad de la empresa Constructora Norberto Odebrecht y su conformidad y aprobación estuvo a cargo de la empresa supervisora Worley Pearson contratada por la empresa Generación Huallaga S.A.

¹³ Ver anexo 3: Especificaciones técnicas

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Optimización del tiempo al emplear rutas alternas para llegar al sitio de obras

De la tabla N° 05, se puede apreciar que se logró llegar al sitio de obra 5 meses antes de lo planificado, tiempo que sumó a la culminación de la construcción de la estructura, por lo que es importante acotar que se puede llegar al mismo punto siguiendo diversos caminos, que la secuencia de actividades para una partida específica puede ser alterada, siempre y cuando se busque un resultado positivo, en éste caso, llegar anticipadamente al sitio de obras.

Cada vez que se postergue una actividad, como lo fue la construcción del acceso definitivo, se debe evaluar el impacto que ello causará, evaluar si es que ésta actividad es necesaria para ejecutar alguna otra, así mismo evaluar el tiempo de ejecución en base a los componentes que la conforman.

Debido a la limitación del normal flujo de equipos y por ende de materiales, se ideó un cruce provisional ya que no era posible la construcción de puentes.

Por lo mencionado en los párrafos precedentes, se deduce que el principio de éste método es la sustitución temporal de un elemento por otro que cumplan la misma función pero que cuya ejecución conlleve menos tiempo.

4.2. Optimización del tiempo al cambiar el proceso de ejecución de la estructura de control

De la tabla N° 06, se deja notar el tiempo de adelanto que se tuvo al dividir la estructura en dos etapas. Como se mencionara en el capítulo III, la metodología inicial indicaba realizar la construcción de toda la estructura (pozo vertical y estructura de control).

Básicamente el aporte de éste método es la división de una estructura en las partes que conforman a su vez otra estructura, así para el caso de la

estructura de control, se decidió ejecutar primero la parte que estaba inmersa dentro del túnel.

Para llevar a cabo éste método es necesario evaluar y verificar que al dividir la estructura, ésta no se vea afectada en su eficiencia operacional.

4.3. Optimización del tiempo y los recursos empleados mediante el uso del Encofrado Deslizante con Andamio Telescópico

Como lo muestran las tablas N° 08 y 10 las velocidades máximas oscilan entre 16.38 cm/h y 18.60 cm/h, éstas velocidades son directamente proporcionales al avance de área desencofrada, permitiendo la optimización del tiempo.

El encofrado deslizante hace posible la optimización de los recursos debido a la reutilización de los mismos.

El método se torna más eficiente cuando en las guías del encofrado deslizante se ancla una plataforma de acabado que cumple la función de andamio, garantizando la continuidad del concretado ya que no es necesario paralizar las actividades para el montaje de andamios, esto hace que se deje el área terminada a la vez que se desliza el encofrado. Este método puede aplicarse en estructuras cuyos elementos verticales tengan alturas considerables.

4.4. Control de la temperatura del concreto a través del uso del serpentín como sistema de enfriamiento

El uso del serpentín permitió controlar la temperatura y se demostró su eficiencia al no aparecer fisuras en la estructura después del fraguado y curado del concreto.

Para el uso de este sistema es necesario tener volúmenes masivos de concreto a fin de evitar la aparición de fisuras debido a la retracción térmica a partir del calor de hidratación del concreto.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- 5.1.1. El método que permitió llegar al sitio de obra antes de la fecha prevista fue la planificación y construcción de rutas alternas. El principio del método empleado es la sustitución temporal de un elemento por otro que cumpla la misma función pero que cuya ejecución conlleve menos tiempo. Así, en la construcción de accesos para llegar a la estructura de control, se optó por habilitar 40 km de trocha carrozable en la margen derecha y postergar la construcción del acceso definitivo ya que éste estaba conformado por túneles, puentes y otros. Esto permitió cumplir con el plazo previsto ya que permitió la optimización del tiempo.

- 5.1.2. El cambio sustancial que se adoptó en la ingeniería básica de la estructura de control fue la división de la misma en dos etapas, iniciando la construcción de la primera etapa la cual estaba inmersa dentro del túnel de desvío y postergando la construcción de la segunda etapa. Éste método consiste en la división de una estructura en las partes que conforman a su vez otra estructura, siempre y cuando su eficiencia operacional y estructural no se vea afectada. Con la construcción de la estructura de control se pudo lograr con éxito el desvío del río en la época previa a su crecida y cumplir con el plazo previsto

- 5.1.3. La importancia del encofrado deslizante radica principalmente en la optimización del tiempo, basándose en las velocidades de desplazamiento del encofrado, ya que éstas son directamente proporcionales al avance de área desencofrada, así también para incrementar la eficiencia de éste método se emplearon andamios telescópicos garantizando la continuidad del ciclo de concretado ya que no era necesario paralizar las actividades para realizar el montaje

de los andamios, esto hace que se deje el área terminada a la vez que se desliza el encofrado. Por otro lado el uso del serpentín como sistema de enfriamiento permitió controlar la temperatura gracias al bombeo continuo de agua durante el fraguado del concreto, a través de un sistema de tuberías con una entrada y salida, comprobándose su efectividad después del fraguado y curado al no aparecer fisuras estructurales.

Los métodos y tecnologías descritos, aportaron de diversas maneras a la disminución de tiempo contando con un adecuado control de los estándares de calidad exigidos, por lo cual se concluye que los métodos y tecnologías empleados durante la construcción de la estructura de control del túnel de desvío de la Central Hidroeléctrica Chaglla permitieron cumplir con el plazo y los estándares de calidad, hecho que valida la hipótesis planteada en la presente tesis. Así mismo son un aporte para la construcción de éste tipo de estructuras.

5.2. Recomendaciones

Después de la experiencia obtenida durante la construcción de la estructura de control en la Central Hidroeléctrica de Chaglla, se recomienda:

- 5.2.1. Realizar una adecuada planificación de todas las actividades, evaluando cuáles pueden ser sustituidas temporalmente, divididas o postergadas, a fin de optimizar el tiempo y no comprometer el avance del proyecto.
- 5.2.2. Emplear el método que más se adecúe a la situación existente, ya que la eficiencia de cada método radica en saber en qué espacio y momento debe ser aplicado, dando como resultado la buena utilización de sus recursos
- 5.2.3. Realizar un plan de vaciado, una curva cota x volumen, con el objeto de que la planta abastezca la demanda de la obra, para que no haya exceso o déficit de concreto.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- BBPO, 2012, Base de Buenas Prácticas – Odebrecht; Constructora Norberto Odebrecht S.A. División de Aprendizaje y Gestión de Proyectos.
- Pinao Elera, Erick Pavel, “Aplicación de Encofrados Deslizantes en Estructuras Verticales”, Tesis Profesional Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- SCC, 2010, Sistema de Control de Calidad, Constructora Norberto Odebrecht S.A. División de Control Documentario.
- Contrato EPC Central Hidroeléctrica de Chaglla, 2011, Anexos Contractuales
- SGCA, 2009, Sistema de Gerenciamiento y Control Ambiental, Constructora Norberto Odebrecht S.A.
- (2006-03). Obras Públicas-Control de Plazo de entrega de un contrato. Infraestructura Vial Digital. Recuperado de:
http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=241&Itemid=307
- Antill and Wothead (1995) “Método de la ruta crítica y su aplicación en la construcción” , Limusa Noriega Editores, México, Pág. 379
- Banco Interamericano de Desarrollo (1985) “Proyectos de Desarrollo”, tercera edición. Editorial Limusa. Pág 144

CAPITULO VII. ANEXOS

| Título | | Página |
|---------------|--|---------------|
| Anexo 1 | Tabla de Caudales Medios Mensuales ----- | 59 |
| Anexo 2 | Metrados de la Estructura ----- | 60 |
| Anexo 3 | Especificaciones Técnicas ----- | 65 |
| Anexo 4 | Fotos del Proyecto ----- | 76 |

ANEXO 01: Tabla de Caudales Medios Mensuales

| año | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | media |
|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| 1966 | 94.4 | 165.1 | 146.8 | 86.3 | 94.4 | 32.2 | 18.4 | 17.2 | 19.8 | 90 | 108.9 | 203.3 | 89.7 |
| 1967 | 146.7 | 402.8 | 358.6 | 178.8 | 95.1 | 48.4 | 52.9 | 42.8 | 36.7 | 139.8 | 122.9 | 219.3 | 153.7 |
| 1968 | 228.6 | 308.4 | 266.6 | 169.1 | 86 | 47.1 | 42.3 | 46.7 | 71.1 | 141.5 | 157.7 | 126.5 | 141 |
| 1969 | 136.6 | 173.8 | 124.6 | 106.4 | 46.3 | 48.7 | 38.2 | 28.3 | 35.8 | 33.6 | 121.4 | 266.9 | 96.7 |
| 1970 | 277.9 | 241.4 | 220.9 | 211.8 | 95.5 | 49.1 | 44 | 31.8 | 76.4 | 60.8 | 122.2 | 161.8 | 132.8 |
| 1971 | 334.2 | 285.8 | 256.4 | 156.6 | 74.2 | 44.1 | 37.6 | 40.1 | 34.6 | 75.5 | 87.9 | 171.2 | 133.2 |
| 1972 | 185.4 | 204.5 | 264 | 203.6 | 129.7 | 65 | 49.7 | 45 | 75.7 | 127.6 | 105.2 | 212.3 | 139 |
| 1973 | 173.1 | 342.2 | 212.3 | 188.8 | 73.8 | 46.8 | 40.4 | 42 | 51 | 130.6 | 127.6 | 277.9 | 142.2 |
| 1974 | 342.2 | 268.9 | 270.8 | 230.7 | 81.9 | 75.8 | 47.2 | 57.6 | 57.9 | 86.6 | 68.6 | 113.6 | 141.8 |
| 1975 | 235.2 | 308 | 359.7 | 135.6 | 118 | 59.5 | 41.1 | 38.5 | 69.8 | 94.8 | 187 | 202.2 | 154.1 |
| 1976 | 229.3 | 263.6 | 244.5 | 118.4 | 59.3 | 42.1 | 34.5 | 32.9 | 33.6 | 43.1 | 83.1 | 97.8 | 106.8 |
| 1977 | 175.9 | 211.7 | 171.7 | 166.4 | 74.3 | 42.6 | 32 | 32.7 | 37.1 | 77.5 | 204.2 | 134.6 | 113.4 |
| 1978 | 191.4 | 216.1 | 185.4 | 181.5 | 114.5 | 55.1 | 36.9 | 31.3 | 77.3 | 61 | 152 | 194.9 | 124.8 |
| 1979 | 172.6 | 245.4 | 360.1 | 279.2 | 100.8 | 51.4 | 39.6 | 32.5 | 43.8 | 87.2 | 143.1 | 109.5 | 138.8 |
| 1980 | 149.2 | 255.6 | 340.6 | 204.4 | 80.5 | 45.5 | 35 | 31.8 | 30.4 | 214 | 197 | 221.5 | 150.5 |
| 1981 | 164.9 | 419 | 439.7 | 154.5 | 69.1 | 44.9 | 37.2 | 113.6 | 86.6 | 178.5 | 296.9 | 354.1 | 196.6 |
| 1982 | 312.2 | 361.7 | 279.5 | 210.9 | 95.3 | 57.7 | 44.7 | 43 | 43.6 | 117.6 | 236.4 | 228.9 | 169.3 |
| 1983 | 263 | 261.7 | 255.4 | 123.8 | 61.8 | 44.3 | 38.4 | 35.7 | 34.1 | 35.6 | 51.4 | 141.4 | 112.2 |
| 1984 | 102.5 | 312.3 | 221.8 | 80 | 45.9 | 38.1 | 32.4 | 29.8 | | | | | |
| 1985 | | | | | | | | | 51.8 | 65.2 | 82.8 | 92.6 | |
| 1986 | 114.8 | 129.4 | 275.6 | 272.1 | 151.2 | 63.5 | 37.2 | 46.3 | 51.1 | 60.6 | 115.2 | 199.8 | 126.4 |
| 1987 | 370 | 206.6 | 193.4 | 102.4 | 49.7 | 35.3 | 43.8 | 30.6 | 68.3 | 110.6 | 296.1 | 258.1 | 147.1 |
| 1988 | 435.1 | 369.1 | 272.4 | 277 | 151 | 67.3 | 44.2 | 38.7 | | | | | |
| 1989 | | | | | | | | | 38 | 219.4 | 163.9 | 139.4 | |
| 1990 | 125.7 | 62.1 | 149.4 | 151.7 | 87.3 | 184.7 | 77.1 | 42.4 | 86.8 | 170.9 | 275.5 | 283.9 | 141.5 |
| 1991 | 222.6 | 216.7 | 469.1 | 229.5 | 117.9 | 63.5 | 42.7 | 36.2 | 86.5 | 240 | 259.3 | 128 | 176 |
| 1992 | 189.2 | 184.5 | 299.1 | 133.1 | 69 | 58.5 | 42.8 | 109.3 | 69.4 | 201 | 229.5 | 118 | 141.9 |
| 1993 | 295.3 | 382.2 | 399.4 | 237.5 | 132.3 | 68.1 | 46.8 | 45 | 43.6 | 102.3 | 259.5 | 450.1 | 205.2 |
| 1994 | 225.8 | 268.4 | 123.5 | 90.2 | 53.5 | 42.7 | 37.6 | 35.3 | | | | | |
| 1995 | | | | | | | | | | | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | | |
| 1997 | | | | | | | | | 29.5 | 45 | 104.2 | 201.9 | |
| 1998 | 337.4 | 365 | 348.9 | 171 | 66.2 | 40.5 | 30.8 | 27 | 26.1 | 57.8 | 168.8 | 125.3 | 147.1 |
| 1999 | 238.8 | 413.9 | 428.1 | 292.8 | 119.5 | 66.6 | 42 | 34.7 | 66.8 | 73 | 111.1 | 179.8 | 172.3 |
| 2000 | 244 | 260.3 | 473.1 | 258.5 | 106.9 | 59.5 | 44.9 | 62.5 | 42.8 | 51.1 | 94.8 | 212.2 | 159.2 |
| 2001 | 319.8 | 298.7 | 330.5 | 242.7 | 110.1 | 59.4 | 56.8 | 45.2 | 39.5 | 70.1 | 202.4 | 256.2 | 169.3 |
| 2002 | 132.2 | 207.4 | 273.2 | 217 | 106.7 | 55.6 | 82.2 | 46.4 | 59.9 | 156.2 | 249.7 | 217.3 | 150.3 |
| 2003 | 214.9 | 265 | 342.3 | 248.8 | 124.7 | 70 | 47 | 51.3 | 53.3 | 55.9 | 169.7 | 390.2 | 169.4 |
| 2004 | 177.1 | 169.1 | 182.9 | 126.8 | 119.1 | 68.7 | 53 | 51.2 | 91.2 | 159.5 | 145.9 | 280.5 | 135.4 |
| 2005 | 210.5 | 284.5 | 298.4 | 151.4 | 83.6 | 47.8 | 40.1 | 37.7 | 39.6 | 138.1 | 160.6 | 240 | 144.4 |
| 2006 | 320 | 245.1 | 354.7 | 270.9 | 99.8 | 58.8 | 42.8 | 37.5 | 51.3 | 132.4 | 229.1 | 254.5 | 174.7 |
| 2007 | 310 | 141.8 | 303.2 | 251.3 | 131.4 | 64.6 | 62 | 43.6 | 39.8 | 174.1 | 184.3 | 190 | 158 |
| 2008 | 235.2 | 314.3 | 270.2 | 226.3 | 105 | 61 | 44.2 | 38.8 | 90 | 103.1 | 135.2 | 202.9 | 152.2 |
| 2009 | 331.3 | 418.4 | 392 | 368.1 | 167.4 | 80 | 68.1 | 56.5 | 51.1 | 77.2 | 172 | 325.2 | 209 |
| min. | 94.4 | 62.1 | 123.5 | 80 | 45.9 | 32.2 | 18.4 | 17.2 | 19.8 | 33.6 | 51.4 | 92.6 | 17.2 |
| media | 229.9 | 268 | 286.1 | 192.5 | 96.1 | 57.8 | 44.3 | 43.3 | 53.6 | 109.2 | 163.7 | 209.8 | 146.2 |
| máx. | 435.1 | 419 | 473.1 | 368.1 | 167.4 | 184.7 | 82.2 | 113.6 | 91.2 | 240 | 296.9 | 450.1 | 473.1 |

ANEXO 02: Metrados de la Estructura de Control

La Obra de Desvío de la Central Hidroeléctrica Chaglla se compone de dos partes: la primera: La Estructura de Control y la segunda el Pozo Vertical en donde irán alojadas las compuertas para el embalse de la presa. En ésta sección se describe las longitudes, áreas y volúmenes de ambas, así como el presupuesto.

METRADO

1. ACERO:

A. DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL

| Descripción | Diámetro | Longitud (m) | Kg/m | Peso Parcial (kg) |
|---------------------------------|----------|--------------|--------|---------------------|
| Armado losa de Fondo | 1 3/8" | 34738.52 | 7.907 | 274,677.48 |
| | 1/2" | 180.56 | 0.994 | 179.48 |
| | | | | Peso Total |
| Pilar Central Armado | 1 3/8" | 30362.60 | 7.9070 | 240,077.08 |
| | 3/4" | 4645.20 | 2.2350 | 10,382.02 |
| | | | | Peso Total |
| Sector Aguas Arriba Armado | 1 3/8" | 12064.04 | 7.9070 | 95,390.36 |
| | | | | Peso Total |
| Sector Central Armado | 1 3/8" | 27262.81 | 7.9070 | 215,567.04 |
| | 3/4" | 2729.31 | 2.2350 | 6,100.01 |
| | | | | Peso Total |
| Sector Aguas Abajo Armado | 1 3/8" | 18672.80 | 7.9070 | 147,645.83 |
| | | | | Peso Total |
| Armadura de Refuerzo en Recatas | 1 3/8" | 185.40 | 7.9070 | 1,465.96 |
| | 3/4" | 8553.22 | 2.2350 | 19,116.45 |
| | | | | Peso Total |
| TOTAL 1 | | | | 1,010,601.70 |

B. DEL POZO VERTICAL (SHAFT)

| Descripción | Diámetro | Longitud (m) | Kg/m | Peso Parcial (kg) |
|--|----------|--------------|--------|---------------------|
| Pozo de Compuertas Armado Hasta Cota. 1035.00 | 1 3/8" | 18940.00 | 7.9070 | 149,758.58 |
| | 1" | 9612.85 | 3.9730 | 38,191.85 |
| | 3/4" | 648.00 | 2.2350 | 1,448.28 |
| | | | | Peso Total |
| Armado de Vinculación Concretos 1° Etapa | 1/2" | 2952.40 | 0.9940 | 2,934.69 |
| | | | | Peso Total |
| Armado de Vinculación Concretos 2° Etapa | 1/2" | 3806.40 | 0.9940 | 3,783.56 |
| | | | | Peso Total |
| Armado Losa Superior | 1" | 4132.40 | 3.9730 | 16,418.03 |
| | 3/4" | 770.00 | 2.2350 | 1,720.95 |
| | | | | Peso Total |
| Descarga Ecológica Estructura de Disipación Armado | 3/4" | 864.24 | 2.2350 | 1,931.58 |
| | 1/2" | 5841.44 | 0.9940 | 5,806.39 |
| | | | | Peso Total |
| Descarga Ecológica Estructura de Disipación Armado | 1/2" | 227.26 | 0.9940 | 225.90 |
| | | | | Peso Total |
| Descarga Ecológica Estructura de Disipación Armado | 1/2" | 190.94 | 0.994 | 189.79 |
| | | | | Peso Total |
| Total 2 | | | | 222,409.59 |
| TOTAL | | | | 1,233,011.29 |

2. CONCRETO

A. DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL

| Descripción | Cota | Volumen (m3) | % de Incidencia |
|---|---------|-----------------|-----------------|
| LOSAS | | | |
| Losa n° 1 | 1001.00 | 238.60 | 2.73% |
| Losa n° 2 | 1002.00 | 554.06 | 6.34% |
| Losa n° 3 | 1003.00 | 577.03 | 6.60% |
| Losa n° 4 | 1004.00 | 814.82 | 9.32% |
| PAREDES (zona recta) Y PILAR CENTRAL | | | |
| Pared Derecha | 1010.00 | 673.98 | 7.71% |
| Pared Izquierda | 1010.00 | 673.98 | 7.71% |
| Pilar Central | 1016.50 | 683.48 | 7.82% |
| BÓVEDAS | | | |
| Aguas Arriba | 1020.00 | 582.40 | 6.66% |
| Aguas Abajo | 1020.00 | 1,606.76 | 18.38% |
| ZONA CENTRAL | | | |
| Base | 1014.00 | 198.00 | 2.27% |
| Medio | 1018.00 | 238.00 | 2.72% |
| Inicio cuerpo | 1021.00 | 217.40 | 2.49% |
| Total 1 | | 7,058.51 | 80.75% |

B. DEL POZO VERTICAL (SHAFT)

| Descripción | Cota | Volumen (m3) | % de Incidencia |
|----------------------|---------|-----------------|-----------------|
| POZO | | | |
| Zona de cuerpo | 1035.00 | 1,057.84 | 12.10% |
| Columna Central | 1059.00 | 338.40 | 3.87% |
| Columnas "T" | 1059.00 | 134.40 | 1.54% |
| TECHO DE POZO | | | |
| Techo | 1060.00 | 152.22 | 1.74% |
| Total 2 | | 1,682.86 | 19.25% |
| TOTAL | | 8,741.37 | 100.00% |

3. ENCOFRADO

A. DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL

| Descripción | Tipo | Área (m2) |
|---|-------|-----------------|
| PAREDES (zona recta) Y PILAR CENTRAL | | |
| Pared Derecha | Plano | 324.22 |
| Pared Izquierda | Plano | 324.22 |
| Pilar Central | Plano | 671.88 |
| Pilar Central | Curvo | 23.56 |
| BÓVEDAS | | |
| Aguas Arriba | Curvo | 446.11 |
| Aguas Abajo | Curvo | 479.56 |
| ZONA CENTRAL | | |
| Paredes Internas | Plano | 593.75 |
| Paredes Externas | Plano | 296.88 |
| Total 1 | | 3,160.17 |

B. DEL POZO VERTICAL (SHAFT)

| Descripción | Tipo | Área (m2) |
|--------------------|-------|-----------------|
| POZO | | |
| Columnas Centrales | Plano | 574.56 |
| Total 2 | | 574.56 |
| TOTAL | | 3,734.73 |

a. PRESUPUESTO

El presupuesto se define de manera general, tal como sigue:

| Descripción | US\$ |
|---------------------------------|---------------------|
| Concreto Estructural 250 kg/cm2 | 832,616.03 |
| Encofrado Plano | 52,155.00 |
| Encofrado Curvo | 43,719.20 |
| Acero de refuerzo | 1,485,584.50 |
| TOTAL | 2,414,074.73 |

Es importante precisar que existen actividades necesarias preliminares al inicio de las obras civiles, necesarias para la estabilización del terreno de contacto:

| Descripción | US\$ |
|---|--------------|
| Pernos Anclaje Pasivos L=2md=25mm | 348,341.99 |
| Shotcrete sin fibra acero / con fibra de acero | 107,132.64 |
| Excavación Subterránea en roca Tipo III | 2,745,399.05 |
| Cimbra | 128,106.40 |
| Perforación e Inyecciones Contacto Impermeabilización | 17,796.80 |
| TOTAL 3,346,776.88 | |

De los presupuestos antes mostrados, podemos concluir que la estructura de control del túnel de desvío, tiene un presupuesto general de:

| Descripción | US\$ |
|---------------------------|--------------|
| Obras Civiles | 2,414,074.73 |
| Obras de estabilización | 3,346,776.88 |
| TOTAL 5,760,851.61 | |

ANEXO 03: Especificaciones Técnicas

Esta sección cubre los requisitos y procesos para el suministro de materiales, mano de obra, equipos y encofrados; así como la preparación, transporte, vaciado, acabado, curado y mantenimiento del concreto convencional, en todos los trabajos indicados en los planos.

COMPOSICIÓN Y CALIDAD

El concreto es compuesto básicamente de cemento Portland, agua, agregados y aditivos, y cumplirá con los requisitos de calidad exigidos en estas especificaciones.

1. CEMENTO

Será Cemento Portland tipo I, que cumpla con la norma ASTM-C150. Adicionalmente deberán cumplir con las condiciones del siguiente cuadro:

Propiedades del Concreto

| Propiedad | Norma de Ensayo | Tipo I | | Tipo II | |
|---------------------------------------|-----------------|---------|------|---------|------|
| | | Min. | Máx. | Min. | Máx. |
| Álcalis (Na 2° + 0,65 K2O) % | ASTM-C114 | | 0.5 | | 0.5 |
| Cal libre (%) (CaO) | ASTM-C114 | | 1.0 | | 1.0 |
| Superficie Especifica Blaine (cm²/g) | ASTM-C204 | 2,800.0 | | 2,800.0 | |
| Calor de Hidratación | ASTM-C186 | | 60.0 | | 60.0 |
| Resistencia a la Compresión (Kgf/cm²) | ASTM-C109 | - | - | - | - |
| 3 días | | 124.0 | - | 103.0 | - |
| 7 días | | 193.0 | - | 172.0 | - |
| 28 días | | 276.0 | +- | 276.0 | - |
| Falso Fraguado Penetración (%) | ASTM-C451 | 50.0 | - | 50.0 | - |

Cuando no se dispongan de datos del calor de hidratación, la suma de C3S y C3A no debe ser mayor del 58%.

De estimar necesario, se podrá utilizar cemento puzolánico.

A. Temperatura del cemento

La temperatura del cemento no excederá los 75°C cuando sea entregado en el Sitio de la Obra.

La temperatura del aire, si este proceso es utilizado para transportar el cemento dentro de contenedores o silos de almacenamiento, no debe exceder los 85°C.

La temperatura del aire se determinará midiendo la temperatura exterior del medio de transporte con un termómetro de superficie.

Para la aplicación del cemento a las mezclas su temperatura no podrá rebasar a los 50°C.

B. Almacenamiento

Todos los lotes despachados deben contener un certificado de la calidad del cemento del fabricante.

Las características principales del producto serán verificadas bajo ensayos realizados en laboratorio.

Inmediatamente después de la recepción, el cemento debe ser cuidadosamente almacenado en silos o bodegas, provistas completamente secas, protegidas de la humedad y con la adecuada ventilación.

La forma del almacenamiento debe ser tal, que permita un fácil acceso, para carga, descarga, inspección e identificación.

Los sacos se almacenarán evitando su contacto directo con el suelo, superpuestos en pilas de hasta 14 sacos, cuando vayan a ser utilizados dentro de los 30 días contados desde su llegada; y en pilas de hasta 7 sacos, cuando este tiempo sea mayor.

Sea que el cemento llegue en sacos o al granel, se debe disponer de un volumen útil de cemento almacenado que garantice una producción continua de concreto compatible con la demanda de la obra.

En ningún caso, este volumen útil almacenado podrá ser menor a cien (100) toneladas.

2. AGREGADOS

A. Condiciones Generales

Los agregados deben consistir de materiales rocosos de canteras naturales y/o del cascajo de las canteras del río, además se pueden obtener por trituración y/o zarandeo que tengan partículas sanas, resistentes, densas, durables, limpias, libres de elementos indeseables tales como arcillas, limos o material orgánico, y cumplir los requisitos de la norma ASTM C 33.

B. Producción

Se debe realizar la extracción, manipulación y acopio temporal de los agregados en condiciones tales que eviten o reduzcan al mínimo la segregación, protegiéndolos de la contaminación de materia orgánica, tierra, madera, aserrín, aceite o cualquier otro material extraño.

Los agregados se clasificarán en cuatro (4) tamaños: uno (1) de agregado fino y tres (3) de agregado grueso. El agregado fino será explotado o producido con una granulometría que satisfaga los requerimientos de la norma ASTM C 33.

C. Calidad

Durante la construcción, se tomarán muestras representativas de cada tamaño, para la verificación rutinaria de su calidad, para lo cual ejecutará los ensayos de análisis granulométrico, densidad absoluta, absorción, partículas blandas y terrones de arcilla, polvo impalpable, materias carbonosas e impurezas orgánicas.

También se ejecutará los ensayos de abrasión Los Ángeles, de resistencia en sulfato de sodio, así como también realizará análisis petrográficos y de reactividad potencial álcali-agregado, de manera de comprobar el mantenimiento de la calidad del yacimiento dentro de las normas establecidas.

Los ensayos serán ejecutados según los métodos respectivos de la ASTM y del INEN. Los siguientes son los porcentajes máximos (en peso de la muestra) permisibles de sustancias indeseables:

Pesos Permisibles de los Agregados Finos

| Agregado Fino | % del peso |
|------------------------------------|------------|
| Material que pasa el tamiz # 200 | 7.0 |
| Arcilla y partículas desmenuzables | 0.5 |
| Otras sustancias dañinas | 2.0 |
| Total máximo permisible | 4.0 |

Se empleará la especificación ASTM C87, para valorar el efecto de un alto porcentaje (%) de sustancias indeseables. Se rechazará un agregado fino si su resistencia relativa a los 7 días es menor que el 95% de aquella obtenida con un material tratado.

Pesos Permisibles de los Agregados Gruesos

| Agregado grueso | % del peso |
|---|------------|
| Sanidad-sulfato de sodio, pérdida en 5 ciclos | 12.00 |
| Abrasión Los Ángeles (pérdida) | 50.00 |
| Material que pasa el tamiz # 200 | 1.00 |
| Arcilla | 0.25 |
| Partículas blandas o livianas | 2.00 |
| Otros | 1.00 |

3. AGUA

El agua a usarse, tanto para el lavado de los agregados, como para la preparación de mezclas y curado del concreto, debe estar libre de materias perjudiciales, tales como aceites, ácidos, sales, álcalis, materia orgánica y otras impurezas que puedan interferir con las reacciones de hidratación del cemento, faciliten la corrosión de las armaduras o afecten el color final del concreto.

Además no debe sobrepasar los siguientes límites máximos:

- Materia orgánica (expresada en oxígeno consumido): 3 ppm
- Sulfatos (expresado en ions S O-2): 300 ppm
- Cloruros (expresado en ions Cl-4): 500 ppm
- pH entre 5,8 y 8,0.

La resistencia promedio a los 28 días del mortero preparado con la misma, debe ser por lo menos el 95% de la resistencia obtenida con el mortero preparado con agua destilada.

4. ADITIVOS

A. Condiciones generales

Los aditivos a utilizar serán introductores de aire, reductores de agua - retardantes; acelerantes y aditivos superplastificantes, los cuales deben satisfacer las especificaciones ASMT-C260 y ASTM-C494, respectivamente.

B. Introductores de aire

Estarán constituidos por cualquier sustancia o compuesto que satisfaga los requerimientos de las especificaciones ASTM C 233 y C 260.

Se añadirán a la mezcla fresca, en forma de solución uniforme, con una parte del agua.

Esta solución será dosificada mecánicamente y con tal exactitud y control de medición, que asegure su distribución uniforme en toda la masa de concreto, durante el período especificado de mezcla.

Se definirá los porcentajes óptimos de aire incluido, con referencia a los siguientes valores;

Tamaños Máximos de Agregados

| Tamaño Máximo del Agregado | Porcentaje de Aire Incluido | |
|----------------------------|-----------------------------|----------|
| | % Promedio Diseño | % Mínimo |
| 19 mm (3/4") | 6.0 | 3.5 |
| 38 mm (1 1/2") | 5.5 | 2.5 |
| 76 mm (3") | 4.5 | 1.5 |

C. Reductor de agua-retardante

A menos que se indique de otro modo, todos los concretos deben contener agentes reductores de agua-retardantes, los cuales deben satisfacer la especificación ASTM C494 para el tipo D.

Este agente será del tipo lignosulfónico y sin sales. Deberá estar exento de cloruros, introductores de aire, o agentes espumantes.

Su dosificación se hará de un modo similar que para los introductores de aire, pero un minuto después de añadida el agua a la mezcla.

D. Acelerantes

Se usarán de acuerdo a la especificación ASTM-C494, añadiéndose a la mezcla en solución con una parte de agua de la mezcla.

No se usará acelerantes en base a cloruro de calcio en concretos en los cuales vayan embebidas tuberías o elementos de acero galvanizado, o acero de refuerzo.

E. Almacenamiento

Los aditivos deben estar protegidos de la intemperie, humedad y calor. El almacenamiento de los aditivos debe permitir su uso en orden cronológico de entrega y fácil distinción entre sus tipos, para evitar cambios involuntarios.

F. Calidad

La calidad del aditivo se comprobará en cada suministro para un tipo o marca de aditivo, tomando una muestra representativa y sometiéndola a ensayos comparativos en morteros y concretos de acuerdo con las recomendaciones de las normas de la ASTM.

Los resultados de dichos ensayos, serán determinantes para juzgar la calidad de los aditivos y el cumplimiento de los requisitos de las normas de la ASTM C 494 y C 250 según el tipo de aditivo que se esté analizando.

5. CONCRETO

El concreto que se usará para la estructura de la Obra de Desvío del Río es *clase D*, con resistencia nominal a los 28 días de $f'c = 25$ Mpa.

A. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

Para el tipo de concreto empleado en la estructura, se siguió la siguiente dosificación:

Características de los diseños

| CARACTERÍSTICAS DE LOS DISEÑOS | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|---------------|
| Código/ Tipo | Resistencia Fc (Mpa) | Edad (días) | Slump Test (pul) | DMT (kg/m ³) | Factor A/C |
| D | 25 | 28 | 6-8" | N/A | 0.50 |

| CANTIDAD DE LOS MATERIALES | | | | |
|--|-----------------------------|---|---|------------------------------------|
| Cemento Tipo 1P (kg/m ³) | Agua (l/m ³) | Aditivos | | |
| | | Superplastificantes (kg/m ³) | Inc. de aire (kg/m ³) | Retardante (kg/m ³) |
| 321 | 161 | 4.82 | 0.19 | 0.321 |

| CANTIDAD DE LOS MATERIALES | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Arenas | | Grava - 3/8" | Grava - 3/4" | Grava 1 1/2" |
| Artificial MF=3.20 ± 0.20 (kg/m ³) | Natural MF=2.72 ± 0.20 (kg/m ³) | diam = 9 mm (kg/m ³) | diam = 19 mm (kg/m ³) | diam = 38 mm (kg/m ³) |
| - | 1015 | 293 | 644 | - |

Las características antes mencionadas son aplicables para el concreto de losas, trabes, columnas, pilas y paredes, así también revestimiento de pozos, tuberías a presión y chimenea, además de la losa y plinto de la presa.

6. ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo (varilla corrugada) es el elemento utilizado en el concreto para absorber los esfuerzos de tensión.

El habilitado es el proceso para dar las formas requeridas conforme a los planos de proyecto, y la colocación es la disposición y sujeción indicada en dichos planos para ser ahogado en las estructuras de concreto.

Se debe utilizar acero de refuerzo $f_y = 412,02$ MPa (4200 kg/cm²) y malla de alambre electro soldada de 10 x 10 x 0,50 cm; 15 x 15x 0,5 cm y $f_y = 515,02$ MPa (5250kg/cm²), que cumplan con las normas DGN-B-252 y ASTM A 615 – Grado 60 y ASTM A 185.

El certificado de calidad debe contener los ensayos físico-químicos de cada lote de acero de refuerzo que se utilice en la obra. Los ensayos se hacen de acuerdo con lo indicado en las normas ASTM C 615 o ASTM C 616.

Todo el acero de refuerzo debe ser nuevo, libre de oxidación u otros materiales; si durante el proceso constructivo requiere limpiarse, esto se ejecuta por medios mecánicos, los cuales pueden ser: chorro de arena, cepillo de alambre o pulidora con cerda de alambre, para cumplir con lo indicado en el Reglamento ACI 318.

El acero de refuerzo debe almacenarse clasificándolo por diámetros y grados sobre plataformas, polines u otros soportes. Los soportes no deben tener una separación mayor de 3,00 m; las condiciones de almacenamiento deben ser tales que se evite su deterioro por corrosión, contaminación (aceite, pintura, lodo) y maltrato.

A. Habilitado y Colocación

El habilitado y colocación de todo el acero de refuerzo, incluyendo las mallas de alambre electro soldada, se debe hacer de acuerdo a los planos revisados.

En el momento de colocar el concreto, todo el acero de refuerzo debe estar libre de óxido suelto o en escamas, laminación, aceite, grasa, lodo, lechada u otros materiales que puedan evitar o reducir la adherencia del acero con el concreto.

B. Corte y Doblado

El acero de refuerzo y la malla de alambre electro soldada debe ser cortado y doblado en taller o en campo, de acuerdo con lo indicado en el capítulo 7 del reglamento ACI 318.

C. Espaciamiento de Varillas

El espaciamiento de las varillas es el que se indica en los planos y debe cumplir con lo especificado en el reglamento ACI 318 en su capítulo correspondiente.

D. Recubrimiento del Acero de Refuerzo

El recubrimiento de todo el acero de refuerzo principal debe cumplir con las dimensiones indicadas en los planos; si no se indica, se debe aplicar lo recomendado en el reglamento ACI 318.

El recubrimiento de concreto de los estribos, barras espaciadoras y refuerzo secundario adicional, puede estar reducido por el diámetro de estas barras; las tolerancias en los recubrimientos deben ser las siguientes:

- En recubrimiento de 3,5 cm - 4 mm
- En recubrimiento de 5 cm - 6 mm
- En recubrimiento de 7,5 cm -10 mm

E. Empalmes

A menos que se muestre o especifique otra cosa en los planos, todos los empalmes y su localización, ya sean soldados a tope o traslapados, la colocación y empotramiento del refuerzo, deben cumplir con los requisitos que indica el reglamento ACI 318.

Los extremos traslapados de las varillas deben estar en contacto y amarrados firmemente con alambre recocado.

Todas las varillas mayores del número 8 deben estar unidas de acuerdo a lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones,

Las hojas de malla de refuerzo se deben empalmar traslapando los extremos no menos de 20 cm como lo indica el ACI 318; amarrándolos firmemente con alambre o por medio de grapas de fabricación estándar.

F. Fijadores de Refuerzo

Todo el acero de refuerzo debe ser asegurado en su lugar por medio de silletas de metal o de concreto, espaciadores o varillas, a fin de mantener el acero de refuerzo en su lugar durante todo el colado y fraguado, de manera que no queden expuestos o contribuyan de alguna forma a provocar manchas o deterioro del concreto.

Las silletas de concreto deben ser fabricadas de la misma mezcla que se use en la estructura que se va a colar.

Los soportes deberán cumplir lo especificado en la Norma ACI 315 y tener la resistencia suficiente para mantener el refuerzo en posición durante todas las operaciones de colocación de concreto. Para superficies encofradas expuestas a la vista o a ser pintadas, se deben usar soportes de concreto prefabricados de la misma calidad, textura y color que el concreto de la superficie acabada.

7. ACERO ESTRUCTURAL

A. Estructura de acero.

Todos los materiales, mano de obra, uso de maquinaria y herramientas necesarios para la fabricación y montaje de las estructuras principales, plataformas, escaleras, partes fijas, y en general todo el acero misceláneo del proyecto y que comprende los siguientes elementos:

- Pila Central
- Bóveda
- Paredes Laterales

B. Características Generales

Todos los materiales utilizados en la fabricación de estructura de acero deben de ser nuevos y cumplir con los requerimientos de las normas mencionadas.

C. Tolerancias de Colocación

- Espaciamiento de Barras: el espaciamiento entre barras será como se indique en los planos de detalle.
El espaciamiento entre barras adyacentes y entre capas de acero de refuerzo no deberá variar de la posición indicada en más de 25 mm.
- Recubrimiento de Concreto: el recubrimiento de concreto requerido para las distintas barras de refuerzo deberá ser como se indica en los Planos y se especifique en este documento.
- Pruebas: Se deben efectuar las pruebas en la planta laminadora para la determinación de las propiedades físicas y químicas del acero utilizado en el trabajo.

ANEXO 04: Fotos del Proyecto

Ventana Túnel de Desvío



Llegada al Túnel de Desvío



Excavación de la Bóveda Estructura de Control



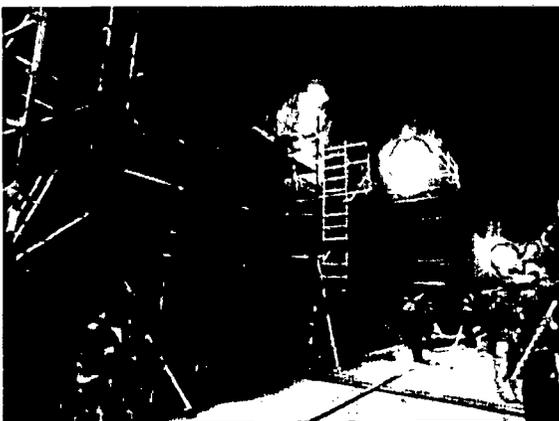
Excavación del Túnel de Desvío a nivel de Bóveda



Túnel de Desvío



Estructura Control - Andamios



Llenado de la Losa de Fondo



Armado Pila Central y Muros



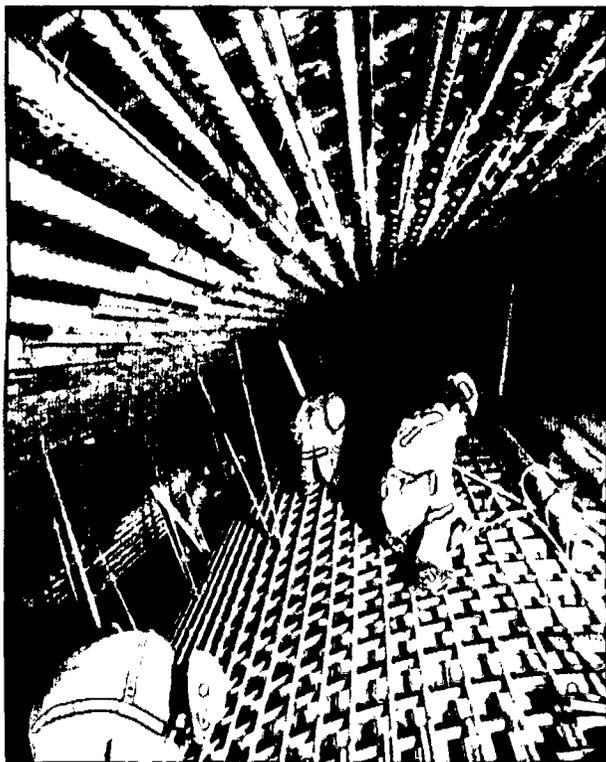
Armado Pila Central



Armado Pila Central



Armado Pila Central



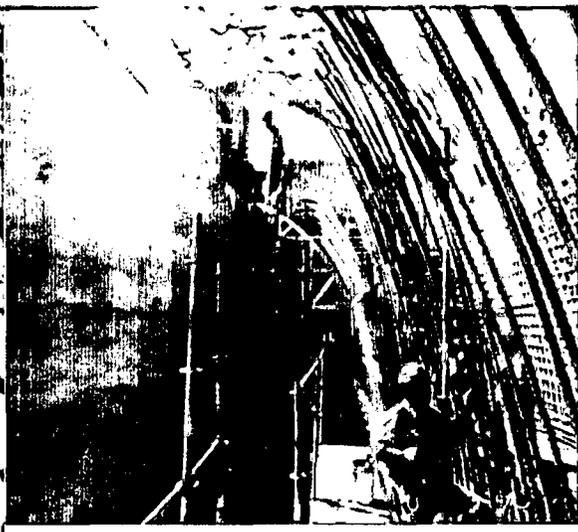
Estructura Control – Encofrado
Deslizante



Colocación de Encofrado Curvo



Colocación de Encofrado Curvo



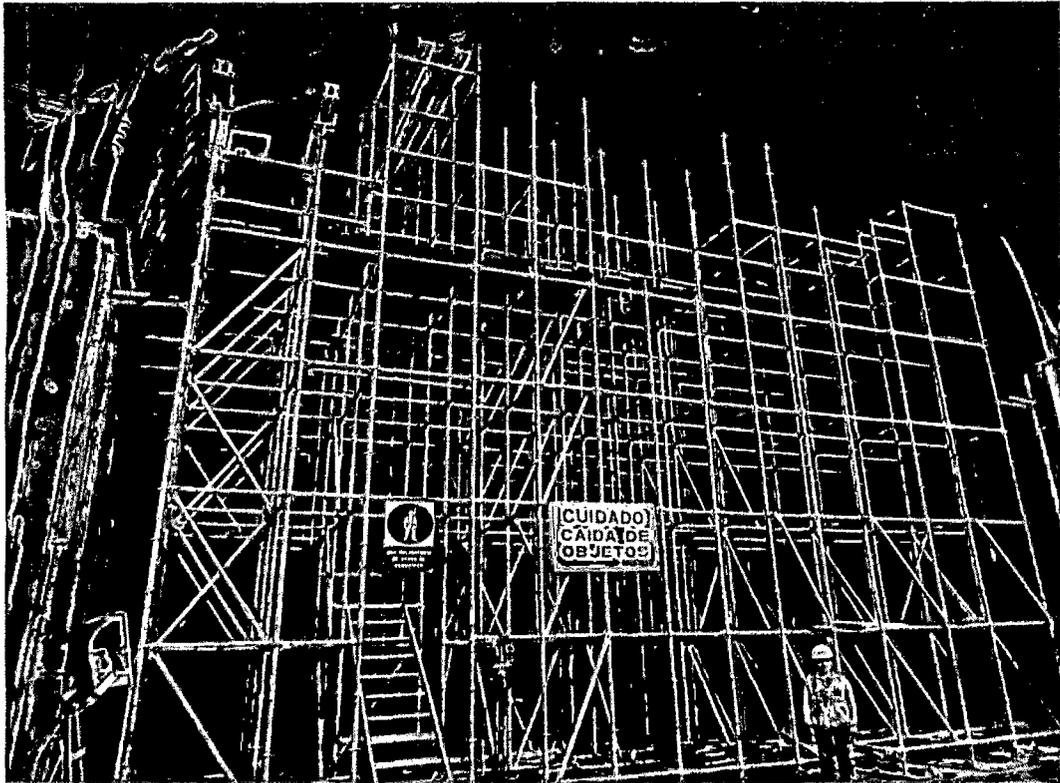
Vista General de los Trabajos



Vista General de los Trabajos



Encofrado de Bóveda en la Estructura de Control



Estructura de Control Aguas Arriba



Entrada Túnel de Desvío



Actividades Previas al Desvío del Río



Ceremonia de Desvío del Río



Desvío del Río Huallaga – 10/08/12



Desvío del Río Huallaga – 10/08/12



Visita Perú Rafting Febrero 2014



Se observaron pequeños desprendimientos de Shotcrete



Salida del equipo

