

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**CENTRAL HIROELÉCTRICA QUITARACSA I
CONTROL DE CALIDAD DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ROBERTO ERNESTO ORUÉ CÓRDOVA

Lima- Perú

2014

DEDICATORIA

A mi esposa e hijas por su apoyo incondicional, a mis padres por su inmensurable amor y a la Universidad Nacional de Ingeniería por sentar en mí los cimientos de esta carrera tan hermosa.

	Pág.
RESUMEN.....	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
1.1. GENERALIDADES	9
1.2. UBICACIÓN.....	9
1.3. GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	10
1.3.1. Estratigrafía	10
1.3.2. Geología Estructural.....	11
1.3.3. Aspectos Hidrogeológicos	12
1.4. ENTREGABLES DEL PROYECTO	12
1.4.1. Obras de Toma – Frente Shapiringo	12
1.4.2. Obras de Toma – Frente Huallanca.....	15
CAPÍTULO II: SOSTENIMIENTO DE TÚNELES Y CAVERNAS	17
2.1. CONCRETO LANZADO.....	19
2.1.1. Procedimiento de Trabajo	22
2.1.2. Control de Calidad	25
2.2. PERNOS DE ANCLAJE.....	27
2.2.1. Procedimiento de Trabajo	29
2.2.2. Control de Calidad	34
2.3. MALLA ELECTROSOLDADA	35
2.3.1. Procedimiento de Trabajo	36
2.3.2. Control de Calidad	37
2.4. CERCHAS METÁLICAS	38
2.4.1. Procedimiento de Trabajo	39
2.4.2. Control de Calidad	40
2.5. COSTOS DEL SOSTENIMIENTO	40
CAPÍTULO III: CONCRETO ARMADO EN OBRAS SUBTERRÁNEAS	44
3.1. OBRAS CIVILES EN GENERAL.....	44

3.1.1. Limpieza de Piso.....	44
3.1.2. Anclajes de Empotramiento	45
3.1.3. Concreto de Regularización.....	46
3.1.4. Habilitación y Colocación de Acero	47
3.1.5. Vaciado de Concreto.....	48
3.2. REVESTIMIENTO DE CONCRETO.....	50
3.2.1. Sección Tipo I	51
3.2.2. Sección Tipo II y III	54
CAPÍTULO IV: INYECCIONES DE CEMENTO EN TUNEL REVESTIDO	61
4.1. ESPECIFICACIONES	61
4.1.1. Consideraciones Generales.....	61
4.1.2. Tipos de Inyección	63
4.2. FRENTES DE TRABAJO	63
4.2.1. Revestimiento de Concreto	63
4.2.2. Transición Concreto - Blindaje	65
4.2.3. Tapón de Concreto - Túnel de Presión	69
4.3. CONTROL DE CALIDAD	70
4.3.1. Mezclas de Lechada Desarrolladas	70
4.3.2. Obturadores Empleados	72
4.3.3. Inyecciones de Lechada	73
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. CONCLUSIONES	75
5.2. RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS	78

RESUMEN

Se trata del Informe de Suficiencia Central Hidroeléctrica Quitarcasa I – Control de Calidad de Procesos Constructivos a fin de optar el título de Ing. Civil que otorga la Universidad Nacional de Ingeniería a nombre de la nación.

El presente Informe verifica en campo los niveles de calidad en obra según el programa de ejecución implementado en la central tomando en cuenta las metodologías empleadas y el control de calidad aplicado para las partidas más importantes dentro del proyecto.

El déficit de energía eléctrica para los próximos veinte años en nuestro país ha permitido el desarrollo de diversos proyectos energéticos de generación limpia y renovable como las centrales hidroeléctricas, esto se puede sustentar con la política prioritaria del estado peruano para agilizar los estudios definitivos y convocar licitaciones de construcción.

El control de calidad de los procesos juega un rol de vital importancia para alcanzar el éxito de los proyectos cumpliendo los plazos y costos estimados en el planeamiento, además de satisfacer todos los requisitos del proyecto definidos en las especificaciones técnicas.

En el desarrollo de los capítulos se detallan los procedimientos de trabajo y el control de calidad, basado en el marco de la ISO 9001, además de la experiencia obtenida en el desarrollo de la ejecución de la central, específicamente en las obras de caída – frente Huallanca, de tal modo que permita servir de guía para proyectos similares.

De la descripción y análisis efectuados se concluye que realizando una buena gestión de la calidad centrada en el control de la producción y validación de los procesos nos permite cumplir con todos los requisitos evitando re-procesos que terminan perjudicando el desarrollo del proyecto con sobrecostos y ampliaciones de plazo, en consecuencia la insatisfacción del cliente.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Cuadro de sostenimiento por tipo de roca.....	18
Tabla 2.2 Requisitos del cemento.....	20
Tabla 2.3 Requisitos del agregado.....	21
Tabla 2.4 Requisitos del agua.....	21
Tabla 2.5 Propiedades de Barras Helicoidales.....	27
Tabla 2.6 Combinación de diámetros entre taladro, cartucho y perno.....	28
Tabla 2.7 Tiempos de Giro y Retención recomendados.....	29
Tabla 2.8 Diseño Lechada Densa.....	31
Tabla 2.9 Diseños Lechada Fluida.....	32
Tabla 2.10 Presupuesto Sostenimiento Casa de Máquinas.....	41
Tabla 2.11 Presupuesto Sostenimiento Casa de Transformadores.....	41
Tabla 2.12 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Conducción	41
Tabla 2.13 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Descarga	42
Tabla 2.14 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Aire y Cables	42
Tabla 2.15 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Paralelo (By Pass).....	43
Tabla 2.16 Metrado por tipo de roca	43
Tabla 2.17 Costo Total por Partida de Sostenimiento	43
Tabla 4.1 Consideraciones previas a la etapa de inyecciones	61
Tabla 4.2 Parámetros de control en mezclas de lechada.....	62
Tabla 4.3 Diseños de Lechada elaborados para inyecciones.....	71
Tabla 4.4 Dimensiones de obturadores inflables modelo Bimbar.....	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Ubicación del Proyecto C.H. Quitaracsa I	9
Figura 1.2 Vista del embalse en fase de relleno.....	13
Figura 1.3 Vista del Túnel de Presión con Revestimiento de Concreto	15
Figura 1.4 Vista de la Obra Civil en Portal Túnel Aire y Cables.....	16
Figura 2.1 Evaluación del Macizo Rocoso en Túnel By Pass.....	17
Figura 2.2 Diagrama de sostenimiento Casa de Máquinas	19
Figura 2.3 Aplicación de concreto lanzado en Túnel y Caverna	19
Figura 2.4 Evaluación geomecánica del macizo rocoso	23
Figura 2.5 Verificación de la dosificación de aditivo y velocidad de bombeo	24
Figura 2.6 Concreto lanzado para sostenimiento sobre cercha metálica.....	25
Figura 2.7 Esquema de molde para paneles de ensayo	26
Figura 2.8 Testigos diamantinos de shotcrete.....	27
Figura 2.9 Perforación del taladro con jumbo.....	30
Figura 2.10 Inyección de perno con inclinación negativa	32
Figura 2.11 Inyección de perno con inclinación positiva.....	32
Figura 2.12 Distribución de resinas en taladro	33
Figura 2.13 Control de producción en pernos de anclaje	34
Figura 2.14 Equipo hidráulico para tensado	35
Figura 2.15 Malla electrosoldada colocada en Casa de Máquinas	36
Figura 2.16 Control de conformidad para malla electrosoldada	38
Figura 2.17 Cerchas metálicas en concreto lanzado.....	38
Figura 2.18 Control de conformidad en cerchas metálicas	40
Figura 3.1 Limpieza gruesa con Pala Haggloader.....	45
Figura 3.2 Limpieza fina manual	45
Figura 3.3 Concreto de Regularización en Túnel de Descarga	47
Figura 3.4 Esquema de posiciones de acero	47
Figura 3.5 Detalle de la descripción en cada posición.....	48
Figura 3.6 Solera en Túnel de Aire y Cables.....	49
Figura 3.7 Portal de Túnel de Aire y Cables.....	50
Figura 3.8 Sección Tipo I – Relleno Tubería Forzada	51
Figura 3.9 Metodología de Trabajo - Arranque.....	52
Figura 3.10 Metodología de Trabajo - Ciclo Típico.....	52
Figura 3.11 Tubería metálica en Tramo Forzado	53

Figura 3.12 Ensayo de Extensibilidad en Concreto Auto-nivelante	53
Figura 3.13 Colocación de Concreto Auto-nivelante	54
Figura 3.14 Sección Tipo II - Revestimiento de Concreto	54
Figura 3.15 Sección Tipo III - Revestimiento de Concreto	55
Figura 3.16 Inyecciones de Contacto en Túnel Revestido	57
Figura 3.17 Acabado de etapa P1.....	58
Figura 3.18 Esquema secuencia de vaciado y vibrado etapa P2	59
Figura 3.19 Verificación del tramo previo al encofrado.....	59
Figura 3.20 Colocación de encofrado metálico etapa P2	60
Figura 3.21 Inspección de acabado etapa P2.....	60
Figura 4.1 Distribución de Taladros para Consolidación – Tipo III	64
Figura 4.2 Distribución de Taladros para Consolidación – Tipo II	64
Figura 4.3 Inyecciones de Contacto - Sección Típica II.....	65
Figura 4.4 Inyecciones de Contacto - Sección Típica III.....	65
Figura 4.5 Anillos de Impermeabilización 1 de 2	66
Figura 4.6 Distribución de Taladros para Impermeabilización 1 de 2	66
Figura 4.7 Anillos de Impermeabilización 2 de 2	67
Figura 4.8 Distribución de Taladros para Impermeabilización 2 de 2	67
Figura 4.9 Anillos de Consolidación 1 de 1	68
Figura 4.10 Distribución de Taladros para Consolidación 1 de 1	68
Figura 4.11 Anillos de Contacto 1 de 1	69
Figura 4.12 Distribución de Taladros para Contacto 1 de 1	69
Figura 4.13 Distribución de Taladros para Consolidación y Contacto	70
Figura 4.14 Presiones de Trabajo en obturadores inflables modelo Bimbar.....	73
Figura 4.15 Equipo de Inyección: Mezclador, Agitador y Bomba	74
Figura 4.16 Ensayos de Control en Producción	74

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia tiene como objetivo difundir la metodología de trabajo y control de calidad de los procesos constructivos con mayor influencia aplicados dentro de la ejecución de la Central Hidroeléctrica Quitaracsa I, específicamente a las estructuras realizadas en las obras de caída del frente Huallanca, de tal forma que sirva de referencia en la planificación de otros proyectos similares.

La necesidad parte de la política actual del estado que tiene un programa de licitación para nuevas centrales hidroeléctricas con capacidad para 1100 MW, es decir un 25% sobre la producción total que existe en todas las centrales y en torno a un 50% más sobre la capacidad de generación hidroeléctrica. Todo esto debido a la proyección de crecimiento en las industrias y el déficit energético previsto para los próximos veinte años.

El control de calidad que se describe está enmarcado en la norma internacional ISO 9001:2008, esta norma es la base del sistema de gestión de la calidad que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios. El presente informe se centra en los ítems 7.5.1 "Control de la producción" y 7.5.2 "Validación de los procesos de la producción" donde se establecen requisitos como: uso de métodos y procedimientos establecidos, uso del equipo apropiado, implementación del seguimiento y la medición, criterios definidos para la revisión y aprobación de los procesos y requisitos de los registros.

Son cinco capítulos comprendidos en el desarrollo de este Informe de Suficiencia y se resumen a continuación:

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, en el cual se describe la información básica del proyecto como la ubicación, geología y los entregables.

CAPÍTULO II: SOSTENIMIENTO DE TÚNELES Y CAVERNAS, en el cual se describe los procedimientos de trabajo y controles de calidad en los diferentes tipos de sostenimiento para soporte de las excavaciones subterráneas.

CAPÍTULO III: CONCRETO ARMADO EN OBRAS SUBTERRÁNEAS, en el cual se describe las consideraciones especiales a tener en cuenta para el proceso de concreto armado en obras subterráneas y los tipos de revestimientos realizados en el túnel para la conducción del agua.

CAPÍTULO IV: INYECCIONES DE CEMENTO EN TÚNEL REVESTIDO, en el cual se describe las consideraciones generales, metodología y control de calidad aplicados para este proceso, detallando los tipos de inyecciones realizadas en el túnel revestido de concreto.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, este último capítulo contiene las conclusiones finales y las recomendaciones recogidas a lo largo del desarrollo de este informe.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. GENERALIDADES

El presente capítulo, describe de manera resumida las características más importantes del Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaracsa I.

El Proyecto Hidroeléctrico plantea aprovechar el desnivel existente entre la zona de la bocatoma y la zona prevista para descarga con un salto neto de 855m, para lo cual se construirá una bocatoma para caudal nominal de 15 m³/s, un embalse de regulación diaria con capacidad para 270 000 m³, un sistema de túneles subterráneos hidráulicos y de acceso, además de dos cavernas donde se ubicarán la Casa de Máquinas que incluye dos turbinas tipo pelton de eje vertical con cinco inyectores cada una y los Transformadores con tensión de 13,8/220 Kv y potencia de 2x66 MVA cada uno.

La potencia eléctrica estimada es de 112 MW, que será entregada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, mediante una línea de transmisión eléctrica de 220 Kv, de aproximadamente 5.5 Km de extensión.

1.2. UBICACIÓN

El Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaracsa I se encuentra en la región de la sierra central del Perú, aproximadamente a 500 km al noreste de Lima, en el distrito de Yuracmarca, Provincia de Huaylas, Departamento de Ancash, muy cerca de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato. El río Quitaracsa es afluente del río Santa y converge con el mismo inmediatamente aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato.

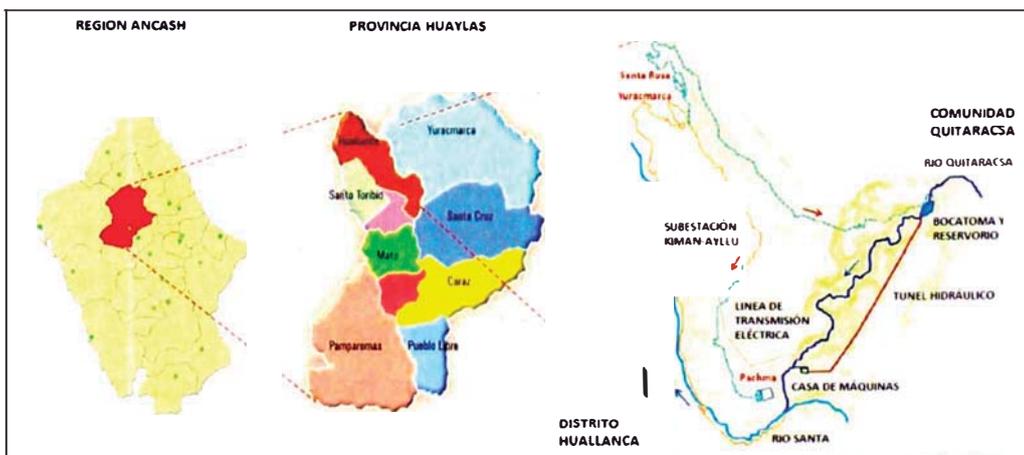


Figura 1.1 Ubicación del Proyecto C.H. Quitaracsa I

Fuente: Propia

1.3. GEOLOGÍA DE LA ZONA

Las características geográficas muestran una zona morfo estructural, componiendo esta un gran relieve montañoso dominado por vertientes muy empinadas, depósitos intermedios de relieves inclinados y escarpes rocosos que nacen de la cota 1400 msnm ascendiendo hasta los picos glaciares a más de 5900 msnm. Estos relieves montañosos se encuentran cortados por profundos y estrechos valles como el del río Santa y prácticamente todo el cañón del río Quitaracsa (ver Anexo 02).

1.3.1. Estratigrafía

La columna estratigráfica del área de estudio comprende una secuencia ordenada de las formaciones geológicas de rocas sedimentarias e ígneas que datan del Jurásico superior y se extienden al cuaternario reciente. Estas formaciones rocosas y depósitos aparecen ocupando los fondos de valles hasta las altas líneas de cumbres de la cordillera blanca donde la formación predominante son las rocas intrusivas.

La actividad ígnea ha tenido mayor intensidad en el área nor-oriental del Perú, lo cual queda en evidencia por el afloramiento del Complejo Plutónico conocido como el Batolito de la Cordillera Blanca, que es observado ampliamente en la cuenca del Quitaracsa.

En general el Batolito se ubica en la parte central de la Cordillera Occidental del Norte del Perú, tiene un rumbo aproximadamente paralelo a las estructuras principales de la región, es decir NO-SE.

En la cuenca del Río Quitaracsa, la gran masa del Batolito consiste en una granodiorita leucocrata de grano grueso, que en algunas áreas muestra una foliación bien desarrollada, como se observa en los alrededores de la C.H. Cañón del Pato en el sector de la caverna de transformadores y casa de máquinas.

Las principales estructuras que presenta el batolito, consisten en una orientación preferente de la foliación y juegos bien desarrollados de diaclasas. Los sistemas de diaclasas que se presentan son características del enfriamiento magmático. La foliación que se observa se ha producido por la alineación y orientación paralela de los cristales que componen la granodiorita. Esta estructura es pronunciada en el contacto con las formaciones sedimentarias, que da la

aparición de una estratificación delgada, como se observa en el diastro que forman el río Santa y el río Quitaracsa.

En los afloramientos superficiales así como de la roca expuesta en los túneles de acceso y caverna de la C.H. Cañón del Pato y en la carretera Caraz-Huallanca, se presenta en estado casi fresco la masa granodiorítica.

Sin embargo, cabe indicar que dentro del Quitaracsa existen zonas areales en proceso de desintegración, entre los que se pueden mencionar, la terraza acuñada ubicada entre los ríos Santa y Quitaracsa, así como las partes altas del cerro Alto Perú en la que se observó una desintegración granular de algunos centímetros de espesor. El 100 % de las obras subterráneas proyectadas se emplazarán en estas litologías.

1.3.2. Geología Estructural

La cuenca del río Santa está situada entre el eje de Tapacocha y la falla de la Cordillera Blanca y corresponde al área ocupada por el miogeanticlinal. Durante la mayor parte del Cretáceo, esta área ha sido positiva con respecto a las cuencas adyacentes, pero durante el intervalo Valanginiano al Aptiano se hundió rápidamente, permitiendo que los sedimentos se acumulasen en la parte Norte y los volcánicos en la parte Sur.

Fallamiento

Los sistemas de fallamiento están asociados a los procesos de distensión en el sistema de la Cordillera andina. Dentro de la cuenca del río Santa se reconocen dos sistemas de fallas, tanto longitudinales como sistema de fallas transversales.

De estos dos sistemas el que interesa a la zona del proyecto son las fallas longitudinales, siendo el más importante la falla de la Cordillera Blanca, la cual se encuentra próxima a la ubicación de las obras. Esta falla se extiende desde Conococha hasta Corongo con una longitud aproximada de 200 km.

En el tramo comprendido entre Huallanca y Corongo (al Norte de la zona del Proyecto), la traza constituye el contacto del Batolito de la Cordillera Blanca con rocas de la formación Chicama. En la zona de Pachma, que se encuentra al Norte de la confluencia de los ríos Santa y Quitaracsa, se puede apreciar con claridad el efecto de la falla sobre los sedimentos cuaternarios, observándose escarpas que llegan hasta los 50 m de altura que se han originado por la ruptura de la superficie. Las fallas transversales son discontinuidades más pequeñas

que las anteriores y cruzan las estructuras rocosas con rumbo SO-NE perpendiculares a las fallas longitudinales.

1.3.3. Aspectos Hidrogeológicos

Las condiciones hidrogeológicas del área pueden resumirse a los puntos siguientes:

El complejo sedimentario con sus alternancias de rocas competentes, duras y fracturadas (cuarcitas, areniscas, calizas) y rocas incompetentes de comportamiento plástico (lutitas, esquistos carbonosos, limolitas) presenta con relación a la permeabilidad un cuerpo muy heterogéneo. Este hecho se refleja en la presencia de manantiales que producen presiones hidrostáticas internas, los cuales muchas veces dan origen a deslizamientos de laderas.

El Batolito, por su intenso fracturamiento puede considerarse como un cuerpo bastante permeable en su parte superficial, donde las fisuras se encuentran abiertas por descompresión. En cambio, en su masa interna maciza, son impermeables. Además el sector inferior del macizo se encuentra ampliamente drenado hacia los profundos cañones de Quitaracsa y sus afluentes, determinando de esta manera que los manantiales en las laderas sean muy escasos o nulos. No se tiene noticias de la existencia de manantiales de aguas termales o mineralizadas dentro del valle del Quitaracsa.

1.4. ENTREGABLES DEL PROYECTO

1.4.1. Obras de Toma – Frente Shapiringo

Las obras de toma comprenden la construcción de diversas estructuras en superficie y en subterráneo, entre las más importantes tenemos:

Bocatoma: estructura de tipo barraje en concreto armado con una sección aproximada de 13 m x 30 m. Ubicada en una garganta muy estrecha del cauce del río, con taludes casi verticales con presencia de afloramientos rocosos. Las principales instalaciones de la bocatoma incluyen el vertedero de demasías, dos descargas de fondo y la toma de agua que estará ubicada al lado izquierdo de la presa donde se instalarán rejillas y una compuerta de entrada para aislar el flujo de agua hacia la conducción. Para su construcción está previsto el desvío del río Quitaracsa por la margen derecha a través de una ataguía y un túnel de sección

5 m x 5 m y longitud 300 m, además está contemplado dentro del diseño la ejecución de inyecciones de impermeabilización del basamento rocoso y los taludes laterales.

Embalse de Regulación: este embalse de regulación diaria tiene una capacidad de almacenamiento de 274,000 m³ de agua como abastecimiento a los túneles de conducción en las épocas de sequía. Este embalse se conecta al Túnel de Baja Presión a través del Túnel de Conexión con una Cámara Compuerta que sirve de toma y entrega. Además contempla un vertedero de demasías que entrega las aguas en exceso hacia el canal de contención ubicado en la margen derecha, por otro lado presenta una descarga de fondo para la purga y limpieza del reservorio en su mantenimiento. Su construcción especifica rellenos de material selecto, cobertura con geomembrana e instrumentación para control de sobre-presiones y desplazamientos no deseados.

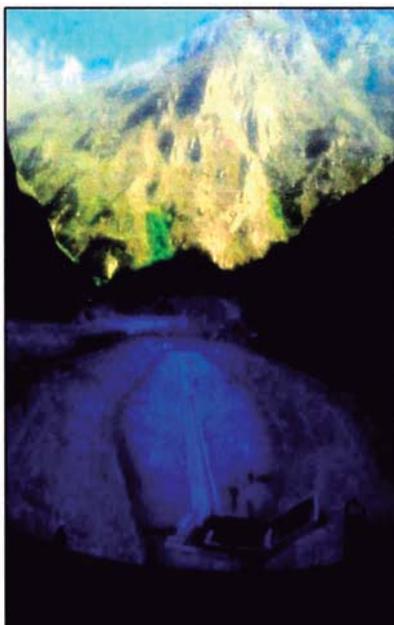


Figura 1.2 Vista del embalse en fase de relleno

Fuente: Propia

Canal de Contención: constituido por muros de gravedad especificados de concreto clase 210 kg/cm² y barreras ancladas al macizo rocoso del cerro adyacente, su funcionamiento tiene doble finalidad en las obras de toma: una es la de contención del relleno a ejecutar para la construcción del embalse de regulación y otra es la de servir como desvío de las aguas del río Quitaracsa para la construcción del embalse.

Galería de Captación: es una galería subterránea de flujo libre que recibe las aguas de la bocatoma, tiene una sección de 5.5 m x 3.5 m y longitud de 58.17 m. Para su construcción es necesario el reforzamiento del portal adyacente a la bocatoma mediante concreto lanzado y pernos anclados de longitud variables, el sostenimiento de su excavación será definido por el tipo de roca encontrada según los planos alcanzados por el proyectista. Tiene una estructura de concreto armado con sección hidráulica de 2.2 m x 3.25 m.

Desarenador: estructura subterránea de concreto armado tipo caverna de largo 128.87 m y sección 10 m x 10.3 m. Diseñada para la decantación de las arenas mediante dos canales de funcionamiento, las partículas sedimentadas serán derivadas a través de una galería de purga en el fondo. El sostenimiento de la excavación contempla shotcrete de 15 cm con malla electrosoldada de 150 mm x 150 mm x 8mm y pernos anclados con lechada de 8 m y 32 mm de diámetro.

Pique de Caída: estructura subterránea tipo tubo de 12.2 m de diámetro y 50 m de alto, recibe las aguas desarenadas y las lleva hacia el Túnel de Baja Presión. El sostenimiento está definido según clase de excavación de acuerdo a los planos alcanzados por el proyectista.

Túnel de Baja Presión: recibe las aguas provenientes del pique y las conduce con pendiente mínima del 2 %. En su recorrido de 895 m es interceptado por el túnel de conexión con el embalse de regulación diaria, que sirve de toma y entrega hacia la línea de conducción. La sección de excavación es de 4 m x 4 m tipo baúl con un revestimiento primario según el sostenimiento aplicado por clase de excavación. Como revestimiento definitivo no tiene modificación y se mantendrá según la construcción de la excavación.

Túnel de Presión: túnel hidráulico que recibe las aguas del túnel de baja presión con sección tipo baúl de 4 m x 4 m y longitud 2587 m, tiene una pendiente 16 % que conduce las aguas hacia las obras de caída, su sostenimiento es aplicado según la clase de excavación compuesto por shotcrete de espesor variable y pernos de anclaje de 2.4 m x 25 mm en distribución variable. El revestimiento definitivo contempla por un tramo con reforzamiento de shotcrete con malla

electrosoldada y por otro de concreto armado con espesor de 40 cm y sección hidráulica de 3.3 m.

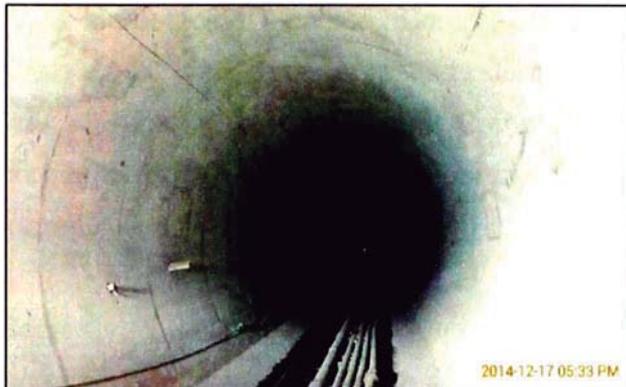


Figura 1.3 Vista del Túnel de Presión con Revestimiento de Concreto

Fuente: Propia

1.4.2. Obras de Caída – Frente Huallanca

Las obras de caída comprenden las estructuras de generación eléctrica y distribución hacia el Sistema Interconectado Nacional.

Túnel Paralelo: construido a partir del cambio de posición de la bocatoma, recibe las aguas del túnel de presión y las conduce con la misma sección y pendiente hasta la Casa de Máquinas. Tiene una longitud de 2362 m y contempla un revestimiento primario según clase de excavación, su revestimiento definitivo está constituido por dos tramos, uno de concreto armado de espesor 50 cm y sección hidráulica de 3.1 m y otro tramo de blindaje con tubería de acero de 1.90m y concreto de relleno.

Túneles de Servicio y Auxiliares: Estos túneles tienen como función atacar la excavación de los túneles por varios frentes reduciendo los tiempos de ejecución. Además son utilizados posteriormente como accesos para inspección y mantenimiento de los túneles hidráulicos.

Casa de Máquinas: estará ubicada en la margen izquierda del río Quitaracsa y será construida en una caverna subterránea, la cual estará conformada por una caverna principal donde se instalarán las unidades de generación, sala de control, sala de baterías, sala electrónica, taller, etc. Tiene aproximadamente las siguientes dimensiones: 17 m de ancho, altura variable de hasta 33 m y un largo de 55 m

Caverna de Transformadores: caverna secundaria donde se instalarán los transformadores y la subestación eléctrica. Compuesta por un sostenimiento definitivo de shotcrete de 20 cm y doble enmallado de fierro corrugado 3/8" con pernos anclados de 32 mm y 8 m de longitud. Como obra civil contempla la construcción de un puente grúa y estructuras de concreto armado como soporte de los transformadores.

Túnel de Aire y Cables y Portal de Salida: tiene como función llevar la línea de transmisión eléctrica desde la Caverna de Transformadores hacia el exterior. En superficie se ejecutó un corte al talud en roca de 30 m de alto para la ejecución de las obras civiles de conexión con la línea de transmisión eléctrica.

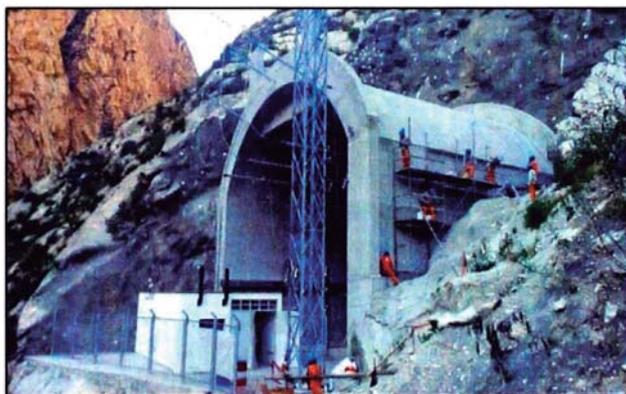


Figura 1.4 Vista Obra Civil en Portal Túnel Aire y Cables

Fuente: Propia

Túnel de Descarga: Para descargar las aguas turbinadas se construirá un túnel de descarga desde la casa de máquinas hasta el mismo río. Trabaja a flujo libre tipo canal, con una sección de 4 m x 7.5 m y largo de 873 m. Tiene un revestimiento primario según clase de excavación y una solera de concreto simple de clase 210 kg/cm².

CAPÍTULO II: SOSTENIMIENTO DE TÚNELES Y CAVERNAS

Dentro de todos los procesos involucrados para la construcción de una central hidroeléctrica es sin duda la partida de mayor metrado, luego de los metros cúbicos excavados, el sostenimiento aplicado en los túneles y cavernas.

Este sostenimiento se utiliza para contrarrestar los esfuerzos originados por la excavación dentro del macizo rocoso y es definido por el especialista en geomecánica de rocas según la clasificación que se obtiene al evaluar el macizo.

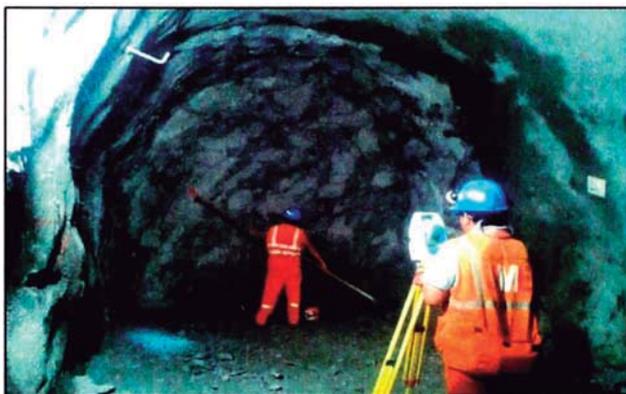


Figura 2.1 Evaluación del Macizo Rocosos en Túnel By Pass

Fuente: Propia

La roca característica en toda la cuenca del río Quitaracsa es la granodiorita, roca ígnea plutónica principalmente constituida por cuarzo y feldespatos de grano medio a grueso.

En la clasificación del macizo rocoso, con miras a la definición de soportes de las excavaciones, se adoptó el Método Noruego, NMT – Norwegian Method of Tunneling, conforme a Barton (1993).

El método de Barton cataloga los macizos rocosos según el denominado índice de calidad "Q", basado en seis parámetros con valores empíricos.

- R.Q.D. Rock Quality Designation (RQD)
- Número de familia de juntas (Jn)
- Rugosidad de las juntas (Jr)
- Meteorización de las juntas (Ja)
- Presencia de agua (Jw)
- S.R.F. Stress Reduction Factor (SRF)

Mediante los seis parámetros indicados, se define la calidad del macizo rocoso mediante la fórmula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

- $\frac{RQD}{J_n}$ Tamaño de los bloques
- $\frac{J_r}{J_a}$ Resistencia al corte entre los bloques
- $\frac{J_w}{SRF}$ Influencia del estado tensional

Cabe indicar que un menor valor de Q indica un macizo de baja calidad y por consiguiente necesitaría un sostenimiento más riguroso (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Cuadro de sostenimiento por tipo de roca

TUNEL DE PRESION	TIPO DE ROCA / SOSTENIMIENTO			
	1	2	3	4
	Q > 4	0.4<Q<4	0.1<Q<0.4	Q<0.1
TIPO DE EXCAVACIÓN, A = SECCION COMPLETA	A	A	A	A
RADIO DE BOVEDA R (m)	2.00	2.00	2.00	2.00
AREA DE EXCAVACIÓN A (m2)	14.28	14.28	14.28	14.28
LONGITUD DE LA BOVEDA (m)	6.28	6.28	6.28	6.28
ANCHO / SOLERA (m)	4.00	4.00	4.00	4.00
ALTURA (m)	4.00	4.00	4.00	4.00
SOSTENIMIENTO				
LONGITUD DE PERNOS (m)	2.40	2.40	2.40	2.40
DISTRIBUCIÓN DE PERNOS LONGITUDINAL / TRANSVERSAL (m)	INDICADO POR EL SUPERVISOR	INDICADO POR EL SUPERVISOR	INDICADO POR EL SUPERVISOR	-
DIAMETRO DE PERNOS (mm)	25	25	25	-
SHOTCRETE CON FIBRAS DE ACERO (ESPESOR mm)	-	50	75	150
CERCHA METÁLICA (a=DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL)	-	-	-	W 4x13

Fuente: Especificaciones Técnicas Proyecto Quitarcasa I

Es el especialista en geomecánica de rocas el encargado de realizar la evaluación del macizo rocoso luego de la remoción de escombros producto de la voladura, es allí donde se clasifica la roca y se instruye finalmente el tipo de sostenimiento a ejecutar. Es importante resaltar que para cavernas el sostenimiento es uniforme en toda la sección (ver figura 2.2), no se realizan evaluaciones por cada disparo como se hace en los túneles. Se debe realizar un procedimiento de trabajo que considere tomar medidas preventivas de seguridad para realizar el sostenimiento completo.

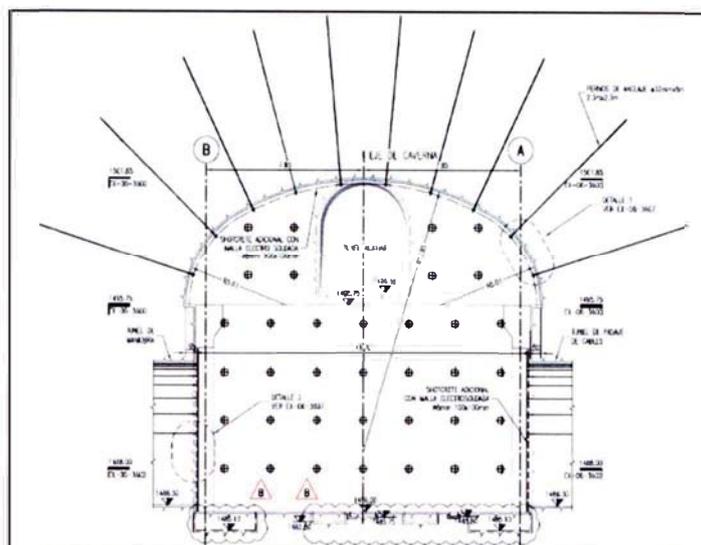


Figura 2.2 Diagrama de sostenimiento Casa de Máquinas

Fuente: Planos del Proyecto Quitarcasa I

El tipo de soporte es una combinación de elementos de sujeción para contrarrestar los esfuerzos generados en el macizo producto de la excavación. Existen diferentes elementos de soporte, lo más común en este tipo de proyectos son: concreto lanzado (shotcrete), pernos de anclaje, malla electrosoldada y cerchas metálicas.

2.1. CONCRETO LANZADO (Shotcrete)

El concreto lanzado se ha incrementado en las últimas décadas, particularmente en la aplicación de túneles. Este sistema facilita la construcción en áreas difíciles, tiene mayor rapidez de aplicación y debido a su fraguado acelerado se puede colocar en bóvedas.



Figura 2.3 Aplicación de concreto lanzado en Túnel y Caverna

Fuente: Propia

El concreto lanzado está constituido por una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos que son lanzados a alta presión sobre la superficie a cubrir. La capa proyectada se aplica uniformemente sobre la superficie de la roca, evitando la producción de desprendimientos y excesivo rebote.

El espesor, extensión y resistencia se realiza de acuerdo a los planos del proyecto y/o con lo indicado por el especialista geomecánico.

- **Cemento**

El tipo de cemento especificado es Portland y debe cumplir los requisitos de la norma C 150 de la ASTM, incluyendo lo siguiente:

Tabla 2.2 Requisitos del cemento

Descripción	Limite
Porcentaje máximo de álcalis (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	0.60%
Porcentaje máximo de óxido de magnesio	4.00%
Porcentaje máximo de cal libre	0.80%
Porcentaje máximo de expansión en autoclave	0.80%
Superficie específica Blaine no menor a	2800 cm ² /gr
Porcentaje mínimo de la penetración final en el ensayo de falso fraguado	50%

Fuente: Especificaciones Técnicas Proyecto Quitarcasa I

Sin embargo debido a la alta reactividad de los agregados en la cantera Playa Puerto Pobre (>0.2 %) se evaluó y aprobó la utilización de Cemento Pacasmayo Tipo MS bajo el criterio del contenido máximo de álcalis en la mezcla de concreto (máx. 3 kg/m³).

- **Agregado**

El agregado utilizado es una arena para shotcrete con un tamaño máximo nominal de 1/2" y una gradación conforme a lo estipulado en el ACI 506. Sus partículas deben ser de rocas sanas, resistentes, densas, durables, limpias, libres de elementos indeseables, tales como arcillas, limos o materia orgánica en descomposición cumpliendo lo indicado en la norma ASTM C33.

Además no deben tener sustancias que reacciones con los álcalis del cemento, pues entonces no podrían ser utilizados, a menos que el porcentaje total de álcalis del cemento sea inferior al 0.6 %. Los siguientes son los porcentajes máximos permisibles de sustancias indeseables:

Tabla 2.3 Requisitos del agregado

Agregado Fino	% del peso
Material que pasa el tamiz #200	3.00
Arcilla y partículas desmenuzables	0.50
Otras sustancias dañinas	2.00
Total máximo permisible	4.00

Fuente: Especificaciones Técnicas Proyecto Quitaracsa I

- Agua

El agua a utilizarse tanto para el lavado de los agregados como para la preparación de las mezclas y curado del concreto debe ser agua fresca, libre de toda sustancia que interfiera el proceso normal de hidratación del cemento. Se deben realizar ensayos físico – químicos (ver tabla 2.4) y posteriormente realizar ensayos de resistencia, según la norma ASTM C109, con morteros de cemento preparados con el agua propuesta. Para la aprobación del agua, la resistencia promedio debe ser por lo menos el 95 % de la resistencia obtenida al prepararse el mortero con agua destilada.

Tabla 2.4 Requisitos del agua

Límites máximos (ppm)		
Sales e impurezas	Cementos rícos en calcio	Cementos sulfato-resistentes
Sólidos en suspensión: Limos y arcillas	2000	2000
Cloruros (Cl ⁻)	700	1000
Sulfato (SO ₄ ⁻⁻)	3000	3500
Magnesio (Mg ⁺⁺)	100	150
Carbonatos (CO ₃ ⁻⁻)	600	600
Dióxido de carbono disuelto (CO ₂)	5	3
Álcalis totales (Na ⁺)	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica	150	150
Valor de pH (mínimo)	6	6.5

Fuente: Especificaciones Técnicas Proyecto Quitaracsa I

- Aditivos Químicos

Súper-plastificante: Dentro de los aditivos utilizados se tiene el súper-plastificante (reductor de alto rango) que le da trabajabilidad a la mezcla para su condición de bombeable cumpliendo la relación a/c especificada de 0.48.

Retardador de fragua: Se utiliza un retardador de fragua debido a los tiempos de transporte prolongados hasta el frente de trabajo, para el proyecto en estudio el traslado desde la planta de concreto hasta el frente de trabajo tardaba aproximadamente 1.5 horas.

Acelerante de fraguado: Todo concreto lanzado requiere la aplicación de un acelerante de fragua durante su aplicación. Este acelerante debe ser libre de álcalis y su dosificación será la necesaria para garantizar una fragua final de 12 minutos.

- **Fibra Metálica**

La fibra de acero se utiliza como refuerzo en el concreto lanzado y debe cumplir con las recomendaciones del ACI para "Fiber Reinforced Concrete" con las siguientes características.

Largo = 30 mm

Diámetro = 0.50 mm

Aspecto de Proporción = $30 < L/D < 80$

Las especificaciones técnicas señalan una dosificación de 40 kg/m²

Para un mejor control del diseño a aplicar, la dosificación se debe realizar al peso con una precisión de +1 %. Se preparan paneles cuadrados de 1 m x 1 m y profundidad no menor a 10 cm para determinar el esfuerzo a la compresión resistente del concreto. La resistencia especificada para los 7 días es de 175 kg/cm².

2.1.1. Procedimiento de Trabajo

Como parte de la definición del procedimiento a seguir se debe determinar primero los recursos mínimos de trabajo que dirigidos a través del capataz del frente se encarga de suministrar los servicios, seguimiento de la actividad, solución de posibles fallas y garantizar la correcta ejecución bajo los estándares de calidad requeridos.

A continuación se detalla el paso a paso dentro del procedimiento de ejecución de esta actividad:

- Inmediatamente después de la remoción de escombros se debe realizar el desatado de bloques sueltos que puedan desprenderse durante el proceso,

además de realizar una limpieza exhaustiva con agua a presión retirando toda impureza encontrada en el macizo rocoso (ver figura 2.4).

- Verificación por el área de topografía mediante estación total del alineamiento del eje, nivel del eje y sección teórica según los planos de excavación vigentes.
- Evaluación del tramo excavado por el especialista geomecánico, quien es el único encargado de instruir la extensión y el espesor de capa de shotcrete a aplicar dejándolo por escrito en el protocolo de evaluación geomecánica.



Figura 2.4 Evaluación geomecánica del macizo rocoso

Fuente: Propia

- Se colocarán calibradores como referencia al lanzador para cumplir con el espesor instruido en el área especificada de la evaluación del tramo, estos son fijados con mortero de yeso-cemento o con resina epóxica batida manualmente.
- Es importante contar con una buena iluminación del área a sostener debido a que la generación de polvo en el lanzado dificulta la visión del operador. Se utilizarán reflectores o neblineros ubicados estratégicamente para cubrir toda el área de trabajo. Con esto se logra un mejor acabado, con una superficie uniforme cumpliendo con el espesor instruido.
- Se verificará la presión de aire en la línea de suministro, ésta debe ser de 8 bares como mínimo en régimen estático para garantizar una presión de 5 bares durante el lanzado en régimen dinámico.
- Verificadas las condiciones se procede a dejar el frente libre materiales y herramientas para el ingreso del equipo de lanzado conectando los servicios de energía eléctrica y aire presurizado.
- Será necesario verificar la calibración del dosificador de aditivo de acuerdo al diseño de mezcla y acelerante a emplear (ver figura 2.5), esta dosificación varía entre 7 y 10 % en peso del cemento, garantizando el fraguado acelerado para la

continuación de actividades y evitando la pérdida de resistencia por un excesivo consumo.

- También es importante verificar la velocidad de bombeo a la cual está regulado, ésta dependerá si se tienen elementos adicionales que quedarán embebidos en el concreto lanzado como cerchas metálicas o malla electrosoldada, si fuera el caso la velocidad de lanzado debe ser baja (6 a 8 m³/hora) garantizando un lanzado uniforme cubriendo los vacíos que puedan existir. De lo contrario si no existen elementos embebidos se puede trabajar a velocidades altas (10 a 12 m³/hora), en todo caso esto dependerá de la habilidad del operador, es importante realizar pruebas in situ para verificar la destreza.

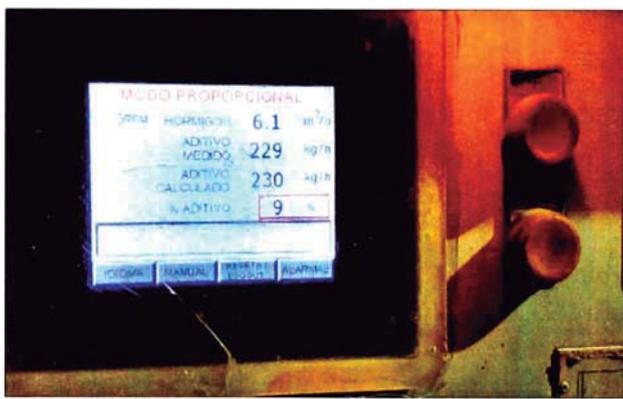


Figura 2.5 Dosificación de aditivo y velocidad de bombeo

Fuente: Propia

- Con el equipo lanzador posicionado en el frente también ingresa el equipo de transporte con la mezcla húmeda (hurón), aquí es necesario verificar el diseño suministrado así como la consistencia de la mezcla con el ensayo del cono de abrams, esta consistencia tendrá un rango de 6 1/2" a 9 1/2", según el diseño aprobado.
- Posicionados todos los equipos se comienza bombeando aditivo hasta la boquilla de salida, luego se bombea lechada de cemento para cebar la línea de impulsión, se abre el suministro de aire a presión y se procede con el bombeo del concreto para el sostenimiento del tramo (ver figura 2.6).
- El proceso de aplicación se realiza en avanzada asegurando el espesor instruido en cada zona aplicada, evitando la generación de juntas frías. Aquí es importante la habilidad del operador en el manejo de la lanza para generar una superficie uniforme libre de bolones o zonas sin el espesor instruido.



Figura 2.6 Concreto lanzado para sostenimiento sobre cercha metálica

Fuente: Propia

- Terminado el proceso de lanzado se verifica la fragua del concreto, especificada según diseño entre 10 y 12 minutos, además se extraerán paneles cada 50 m de avance para el control de resistencia a la compresión del concreto aplicado.
- Se retiran los servicios para el traslado de los equipos hacia la zona de lavado y se deja el frente libre para continuar con las siguientes actividades dentro del ciclo de excavación. Es importante realizar el curado del concreto lanzado, para esto se regará con agua luego de cada actividad dentro del ciclo de excavación durante un periodo de siete días.
- Se debe llevar un registro de control a la actividad (Anexo 07)

Una vez realizada la verificación mediante el registro correspondiente podemos dar fe de la conformidad de la actividad, es importante colocar los desvíos encontrados durante el proceso para el análisis y toma de acciones correctivas que eliminen la causa raíz del problema.

2.1.2. Control de Calidad

La producción de concreto lanzado debe ser sometida a los procedimientos del control de calidad para asegurar el fiel cumplimiento de los requisitos del proyecto. Para esto se definen tres tipos de control: control previo, control de producción y control de conformidad.

- Control Previo

La composición del concreto lanzado se determina durante los ensayos previos a la construcción, donde se verifican las propiedades requeridas sobre mezclas de prueba con los mismos materiales que se emplearán en obra.

Ensayos de laboratorio: relación a/c máxima de 0.48, trabajabilidad, bombeabilidad, asentamiento entre 8" y 10" y temperatura máxima de 35 °C.

Ensayos de aptitud sobre paneles in-situ: Capacidad de proyección, rebote máximo de 12 %, dosificación de acelerante entre 8 % y 10 %, fragua inicial de 12 minutos y resistencia a la compresión a 7 días de 175 kg/cm².

- Control de Producción

Este control se aplica durante todo el tiempo que dure la ejecución de esta actividad y se realiza con una frecuencia definida por el proyectista, para el proyecto Quitaracsa I se estableció un muestreo por cada 50m de excavación.

Ensayos aplicables: Resistencia a la compresión de testigos extraídos de paneles (ver figura 2.7) cumpliendo 175 kg/cm² a 7 días, fragua inicial de 12 minutos, asentamiento entre 6" y 10" y temperatura máxima de 35 °C.

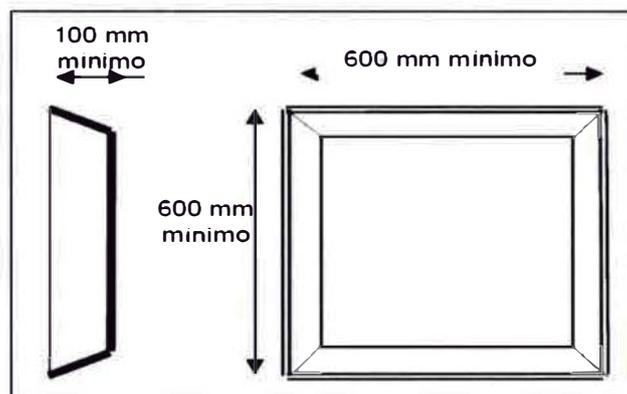


Figura 2.7 Esquema de molde para paneles de ensayo

Fuente: Centro Tecnológico del Hormigón, 2005

- Control de Conformidad

Culminada la actividad se realizan los siguientes ensayos: resistencia a compresión de testigos extraídos de la estructura cumpliendo 175 kg/cm² a 7 días y 250 kg/cm² a 28 días, verificación de espesor según instrucción geológica mediante perforaciones cada 4 m² y tolerancia del 80 % sobre el total de huecos realizados y contenido de fibras metálicas mínimo de 40 kg/m³.

Aquellas zonas de shotcrete que no cumplan lo especificado deben ser retiradas en su totalidad y reemplazadas por sostenimiento nuevo.



Figura 2.8 Testigos diamantinos de shotcrete

Fuente: Propia

2.2. PERNOS DE ANCLAJE

El sistema de pernos de anclaje aporta a la sujeción de las cuñas formadas por la intersección de fracturas en el macizo rocoso, se logra efectividad cuando se atraviesan las cuñas hasta llegar al estrato firme sujetándolas mediante alguna acción mecánica.

Existen diferentes tipos de pernos destinados a este propósito dentro de los cuales tenemos: Split set, hidrabolt, barras helicoidales, swellex, etc. La diferencia se marca en el tiempo de vida útil del anclaje, cabe resaltar que para labores mineras estos pernos tienen una acción temporal, más no en un proyecto de envergadura como una central hidroeléctrica donde se proyectan operaciones de hasta un siglo de duración.

Para el proyecto en estudio se utilizaron para todos los casos barras helicoidales tipo BAHE de diámetro nominal 25mm. Sus propiedades mecánicas y químicas se basan en la norma ASTM A615 Grado 75:

Tabla 2.5 Propiedades de Barras Helicoidales

Límite de Fluencia	mín (kg/cm ²)	5270
Resistencia a la Tracción	mín (kg/cm ²)	7030
Alargamiento en 200mm	mín %	7
%P máximo		0.06%

Fuente. Hoja Técnica Aceros Arequipa

Estas barras no tienen un mecanismo de sujeción por sí solas ya que trabajan adheridas mediante un material de anclaje a la roca, que puede ser: lechada de cemento o resinas epóxicas.

Es muy importante tener en cuenta la relación de diámetros entre el taladro y el perno (ver tabla 2.7), si se utilizan lechadas cementicias se deberá realizar pruebas de arranque para determinar la relación más efectiva, como referencia se maneja 1.50, para el caso de las resinas epóxicas su diámetro también está relacionado con el taladro y el perno, estas relaciones las recomienda el fabricante en la hoja técnica del producto, para casos especiales se puede solicitar un informe técnico por parte del proveedor.

Tabla 2.6 Combinación de diámetros entre taladro, cartucho y perno

Barra Tamaño	Perno Diámetro	Diámetro de Cartucho				
		23 mm	28 mm	32 mm	32 mm	32 mm
#5	16 mm	X				
#6	19 mm	X	X			
#7	22 mm		X	X		
#8	25 mm		X	X	X	
#9	29 mm				X	X
#10	32 mm					X
"X" denota combinaciones adecuadas		25 mm	32 mm	35 mm	38 mm	41 mm
		Diámetro del taladro				

Fuente: Hoja Técnica Minova

Por otro lado en la instalación de pernos con resina epóxica se debe tener en cuenta los tiempos de giro y retención.

Tiempo de giro: La mezcla completa de contenido del cartucho es vital para obtener la máxima fuerza de anclaje. El tiempo de giro es la cantidad de tiempo necesario para la mezcla correcta de los componentes del cartucho por rotación del perno. La mezcla completa de componentes requiere normalmente de 30 a 35 revoluciones.

Tiempo de retención: después que el cartucho esté bien mezclado, el perno debe permanecer en su lugar, la cantidad de tiempo necesario después de la mezcla hasta que el perno este firmemente anclado se denomina tiempo de retención.

También se define Tiempo de gel como el tiempo necesario hasta que la resina se empiece a endurecer, en otras palabras es la suma de los tiempos de giro y retención, está en relación inversa con la temperatura.

Tabla 2.7 Tiempos de Giro y Retención recomendados

Temperatura de Referencia 15-18 °C		
Velocidad de Cartucho	Tiempo de Giro	Tiempo de Retención
segundos	segundos	segundos
90	5 - 8	105 - 135
50	5 - 8	20 - 24
45	5 - 8	16 - 18
35	5 - 8	10 - 12
20	3 - 6	4 - 6
10	3	3 - 5
5	3	2 - 3

Fuente: Hoja Técnica Minova

Las ventajas de respetar los tiempos de giro y retención garantizando una resina totalmente fraguada son:

- Eliminar la posibilidad de falla de anclaje debido a concentración de alta resistencia al distribuir las cargas a lo largo de toda el área fraguada.
- Resistencia al movimiento horizontal y vertical en el proceso de estratificación.
- Resistencia a la corrosión provocada por el agua.
- Resistencia a las vibraciones por efecto de las voladuras.
- Elimina la necesidad de aplicar tensión o torque.
- Minimiza la pérdida de tensión.

2.2.1. Procedimiento de Trabajo

Como parte de la definición del procedimiento a seguir se debe determinar primero los recursos mínimos de trabajo que dirigidos a través del capataz del frente se encarga de suministrar los servicios, seguimiento de la actividad, solución de posibles fallas y garantizar la correcta ejecución bajo los estándares de calidad requeridos.

A continuación se detalla el paso a paso dentro del procedimiento de ejecución de esta actividad:

- Inmediatamente después de culminada la actividad de concreto lanzado (shotcrete) se procede a la marcación topográfica de todos los pernos de anclaje a colocar, según la evaluación geológica del especialista.

- Se debe tener en cuenta la correcta ubicación, espaciamiento, longitud, diámetro y tipo de colocación, éstas características deben estar claramente instruidas en el registro de evaluación geomecánica del tramo.
- En esta etapa también se aprovecha en marcar la malla de perforación del frente para el siguiente disparo, además de colocar las guías para su direccionamiento.
- Se dejará el frente libre de herramientas y materiales para el ingreso del equipo de perforación electro-hidráulico (jumbo) y su estacionamiento, asegurando los servicios de agua presurizada y energía eléctrica. El proceso de perforación se realizará en avanzada tomando las posiciones que sean necesarias para garantizar el correcto direccionamiento de los taladros (ver figura 2.9).
- Se verificará el diámetro de la broca a utilizar en concordancia con el método de instalación a emplear, ya sea lechada o resina epóxica se respetarán la relación de diámetros recomendadas por el fabricante.
- Las barras de perforación a utilizar deben garantizar la longitud del perno a colocar, considerando 50 cm adicionales por la presencia de detritos, según las EE.TT. del proyecto.
- Terminada la perforación se procede a acondicionar la canastilla de elevación en el jumbo para la instalación de los pernos. La colocación de pernos será instruida de dos formas: pernos con lechada o pernos con resina.



Figura 2.9 Perforación de taladro con jumbo

Fuente: Propia

Pernos con lechada:

De instruirse pernos anclados con lechada se procederá al lavado de los taladros y a la preparación de la mezcla según los diseños aprobados. El anclaje puede ser de dos tipos: relleno con lechada densa o inyección con lechada fluida.

Para el caso de pernos con lechada densa, se debe garantizar que la lechada quede adherida a la roca sin desprenderse en los taladros positivos. Primero se coloca la lechada con la ayuda de un tubo de PVC desde el fondo hacia la boca del taladro, luego se procede introducir el perno manual o mecánicamente hasta alcanzar la longitud especificada. Finalmente se limpia y coloca la planchuela y tuerca de sujeción.

Como diseño de mezcla empleado en el proyecto se utilizó el DL-35 con una relación a/c de 0.35 y una consistencia densa que permite ser bombeada y a la vez se mantiene adherida a la roca sin caerse.

Tabla 2.8 Diseño Lechada Densa

Diseño DL-35 a/c 0.35		
Cemento Tipo MS	42.5	Kg
Agua	15	Lts
Intraplast PE	850	Gr
f'c a 3 días	281	kg/cm ²
f'c a 7 días	371	kg/cm ²

Fuente: Tabla de Diseños de Lechada Proyecto Quitarcasa I

El diseño utiliza como uno de sus componentes el Intraplast PE como agente expansor para una mayor adherencia de la lechada densa a la roca a través de la fricción.

Par el caso de pernos inyectados con lechada fluida, se deben desarrollar diseños de lechada según parámetros de viscosidad y resistencia establecidos.

Se colocará primero el perno adosado con una tubería de inyección y otra de retorno. Dependiendo de la dirección del taladro, positivo o negativo, se colocará la tubería de inyección hasta 50cm de la boca y la de retorno hasta 20 cm del fondo del taladro y viceversa respectivamente (ver figuras 2.10 y 2.11). La boca del taladro es sellada con un tapón de mortero yeso-cemento para evitar la fuga de la lechada fluida.

Teniendo el sistema en su posición se inicia la inyección a presiones mínimas (3 bar) verificando la purga de aire por la tubería de retorno hasta la salida de lechada, cuando la lechada que sale tiene la misma consistencia de la inyectada

se da por concluida la inyección y se procede a cerrar las líneas de inyección y retorno.

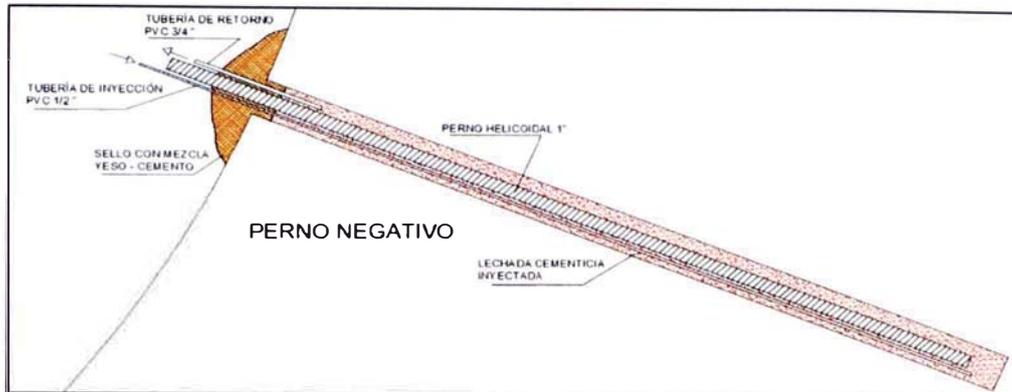


Figura 2.10 Inyección de perno con inclinación negativa

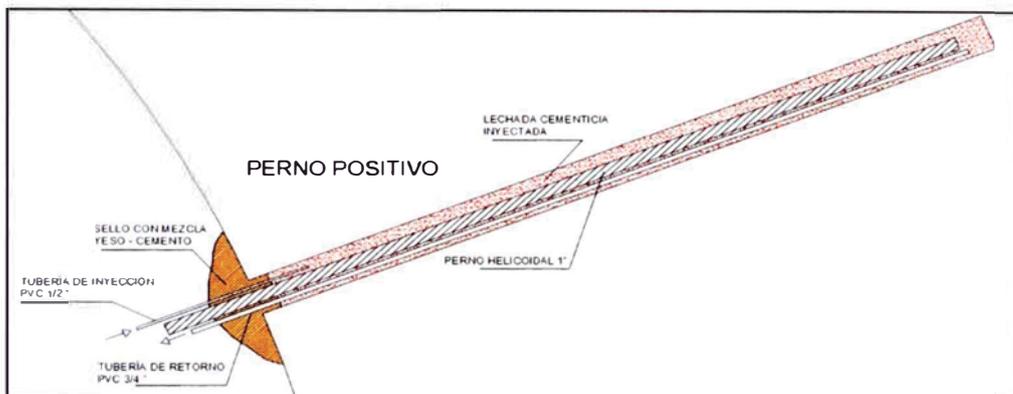


Figura 2.11 Inyección de perno con inclinación positiva

Fuente: Propia

Como diseño de mezcla empleado en el proyecto se utilizaron los diseños aprobados DL-29, DL-36 y DL-30.

Tabla 2.9 Diseños Lechada Fluida

Diseño Lechada	DL-29	DL-36	DL-30	Unidad
Cemento Tipo MS	42.5	42.5	42.5	kg
Agua	21.25	25.5	29.75	lt
Glenium 3800 SCM	350	250	150	ml
Relacion a/c	0.5	0.6	0.7	
Temperatura Mezcla	33.1	31.5	32.8	°C
Temperatura Ambiente	29.7	29.5	30.0	°C
Fluidez Inicial	13.7	11.7	10.8	segundos
Fluidez Final	40.3	37.3	32.3	segundos
f'c a 2 días	152	99	58	kg/cm ²
f'c a 7 días	231	205	170	kg/cm ²

Fuente: Tabla de Diseños de Lechada Proyecto Quitaraca I

Como parámetro de control en las lechadas fluidas se realiza el ensayo con el cono de Marsh, donde se mide el tiempo que le toma a la mezcla llenar un volumen estándar según norma. Este dato es importante para garantizar el recorrido de la mezcla a través de todo el taladro ocupando todas las zonas a rellenar.

Pernos con resina:

De instruirse pernos anclados con resina epóxica se procederá al lavado de los taladros y a la colocación de los cartuchos de resina desde el fondo hacia afuera con la ayuda de tubos de PVC de 1".

Primero se colocarán los cartuchos de resinas rápidas que van al fondo del taladro y luego los cartuchos de resina lenta, las cantidades dependerán de la longitud del anclaje y el tamaño de los cartuchos: para pernos de longitud 2.40 m y cartuchos de 30 cm se colocarán 3 rápidas y 5 lentas (ver figura 2.12).

La necesidad de colocar cartuchos de resina lenta en la boca del taladro es para garantizar el retardo de la fragua hasta colocar el perno en su posición final y los cartuchos de resina rápida en el fondo es para dar auto-soporte inmediato al perno una vez terminada su colocación.

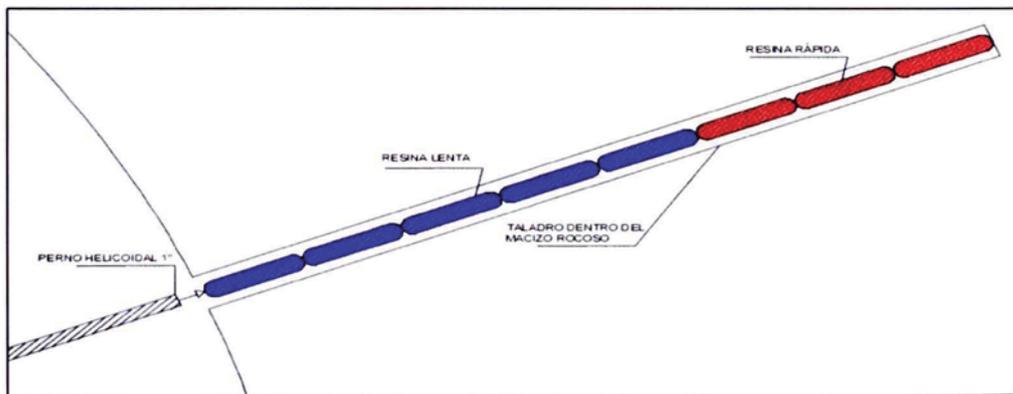


Figura 2.12 Distribución de resinas en taladro

Fuente: Propia

Se debe garantizar el correcto mezclado de los componentes de cada cartucho de resina epóxica, para esto es importante contar con el equipo de rotación en perfecto estado y controlar los tiempos de batido y retención durante el proceso de instalación de los pernos, cumpliendo con lo establecido en la hoja técnica del fabricante.

Finalmente pero no menos importante se coloca la planchuela y tuerca de sujeción para dar por terminada la instalación. Cabe resaltar que estos elementos son muy importantes ante cualquier falla potencial del perno y desplazamiento del macizo rocoso, llegando a soportar cargas de hasta 4.9 toneladas.

Es importante dentro del procedimiento implementar el registro para seguimiento y control de la actividad (Anexo 08).

Una vez realizada la verificación mediante el registro correspondiente podemos dar fe de la conformidad de la actividad, es importante colocar los desvíos encontrados durante el proceso para el análisis y toma de acciones correctivas que eliminen la causa raíz del problema.

2.2.2. Control de Calidad

Los pernos de anclaje instalados deben ser sometidos a procedimientos de control de calidad para asegurar el fiel cumplimiento de los requisitos del proyecto. Para esto se definen tres tipos de control: control previo, control de producción y control de conformidad.

- Control de Previo

Se refiere estrictamente al material suministrado, se debe contar con los certificados de calidad de cada lote de pernos para roca que llega a obra. Además se realiza un muestreo de 3 pernos por lote para ensayos de tensión hasta la falla cumpliendo lo especificado en la información del fabricante.

- Control de Producción

Este control se realiza con la generación del registro durante la instalación de los anclajes.



Figura 2.13 Control de Producción en Pernos de Anclaje

Fuente: Propia

- Control de conformidad

Concluida la instalación de los pernos se realizan ensayos de tensión in-situ, para esto se debe tener en cuenta la fragua del material de anclaje, en el caso de las resinas epóxicas puede ser realizado de inmediato y para las lechadas cementicias se debe esperar 3 días desde su colocación.

Los ensayos de tensión in-situ se realizan en una muestra de 3 pernos cada 100 m de avance en túneles y de 1 perno cada 100 unidades colocadas en cavernas. Identificados los pernos se realiza el tensado hasta llegar a la carga de 10 tnf por medio de una gata hidráulica con calibración vigente. Se mide la relajación de la carga como criterio de falla, teniendo una tolerancia del 10 % respecto a la carga máxima.

Aquellos pernos que excedan la tolerancia definida deben ser reemplazados.

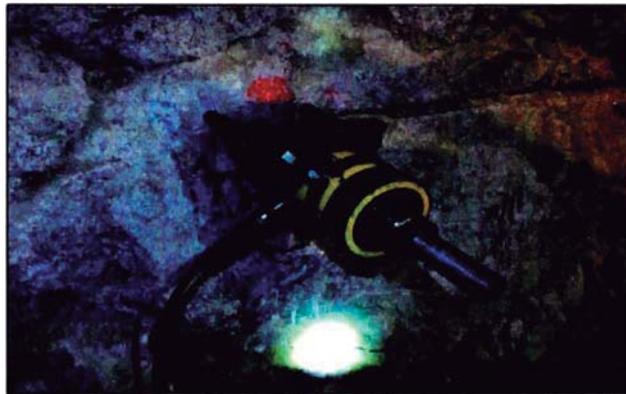


Figura 2.14 Equipo hidráulico para tensado

Fuente: Propia

2.3. MALLA ELECTROSOLDADA

Las mallas electrosoldadas se componen de barras de acero negro o inoxidable, lisas o corrugadas, laminadas en frío, longitudinales y transversales que se cruzan en forma rectangular estando las mismas soldadas en todas sus intersecciones.

Se utilizan para reforzar el concreto lanzado, una malla típica usada en los túneles es la de diámetro 4.2 mm y cocada de 100 mm en piezas de 2.4 m x 3 m que pueden ser manejadas por uno o dos hombres.

Esta malla se fija a la roca mediante insertos de fricción o pernos con resina colocados formando una malla generalmente de 1.2 m x 1.2 m o 1.5 m x 1.5 m. Se debe procurar colocar la malla pegada a la roca para evitar posibles vacío durante el lanzado de concreto de recubrimiento.

2.3.1. Procedimiento de Trabajo

Como parte de la definición del procedimiento a seguir se debe determinar primero los recursos mínimos de trabajo que dirigidos a través del capataz del frente se encarga de suministrar los servicios, seguimiento de la actividad, solución de posibles fallas y garantizar la correcta ejecución bajo los estándares de calidad requeridos.

A continuación se detalla el paso a paso dentro del procedimiento de ejecución de esta actividad:

- Según la clasificación del macizo rocoso se instruye el tipo de sostenimiento a ejecutar, será el especialista geomecánico el único encargado de instruir la extensión y tipo de malla a colocar en el tramo evaluado.
- La actividad se inicia con el marcado topográfico de zona a sostener, además se marcará la ubicación de los insertos en malla de 1.2 m x 1.2 m o 1.5 m x 1.5 m, esto dependerá de la dificultad para sujetar la malla en la zona de trabajo.
- Con equipo manual o equipo electro-hidráulico se procede a la perforación de los taladros para insertos, respetando el diámetro y longitud establecidos del anclaje, generalmente de 38 mm x 50 cm.
- La malla será trasladada a la zona de trabajo dividida en paños adecuados para su transporte y manipulación, generalmente de 2.4 m x 3.2 m. Con ayuda de un equipo elevador se procede a colocar la malla en su posición fijándola a los insertos colocados, bien pegada a la estructura a sostener, evitando dejar vacíos muy grandes que dificulten luego su recubrimiento.



Figura 2.15 Malla electrosoldada colocada en Casa de Máquinas

Fuente: Propia

- Terminada la instalación según la instrucción del especialista geomecánico se podrá recubrir con concreto lanzado para formar una estructura mixta de soporte.
- Cabe resaltar que para el desarrollo de esta actividad queda a criterio del especialista geomecánico y el jefe de guardia la colocación de un sostenimiento preventivo a base de concreto lanzado por motivos de seguridad, previniendo la caída de bloques sueltos en el macizo rocoso.

Es importante dentro del procedimiento implementar el registro para seguimiento y control de la actividad (Anexo 09).

Una vez realizada la verificación mediante el registro correspondiente podemos dar fe de la conformidad de la actividad, es importante colocar los desvíos encontrados durante el proceso para el análisis y toma de acciones correctivas que eliminen la causa raíz del problema.

2.3.2. Control de Calidad

Las mallas electrosoldadas instaladas como parte del sostenimiento deben ser sometidas a procedimientos de control de calidad para asegurar el fiel cumplimiento de los requisitos del proyecto. El control de calidad se realiza de forma visual durante las tres etapas del proceso.

- Control de previo

Es necesario contar con los certificados de calidad del material donde se cumplan los requisitos según norma ASTM A-185, además para longitud de cocada de 10 cm el diámetro del alambre será de 3 mm y para longitud de cocada de 15 cm el diámetro del alambre será de 4 mm.

- Control de producción

Este control se realiza con la generación del registro durante la instalación de los anclajes.

- Control de conformidad

Concluida la colocación se da conformidad mediante inspección visual (ver figura 2.17).



Figura 2.16 Control de conformidad malla electrosoldada

Fuente: Propia

2.4. CERCHAS METÁLICAS

Las cimbras o cerchas metálicas son estructuras fabricadas con perfiles de acero de ala ancha para soporte rígido, cuya función es otorgar inmediata seguridad en rocas muy fracturadas o también en sectores de gran presión interna dentro del macizo rocoso, ajustándose lo más posible a la línea de excavación en el frente de avance del túnel. Estos elementos son suministrados en piezas de acuerdo al requerimiento del cliente, la forma y el número de piezas dependerá de la accesibilidad y el procedimiento de colocación, generalmente se despieza en postes para cada hastial y la bóveda se divide en partes iguales. Los perfiles de acero utilizados más comunes son H6x20 Lb/pie, H6x21 Lb/pie, H6x25 Lb/pie y H4x13.7 Lb/pie.

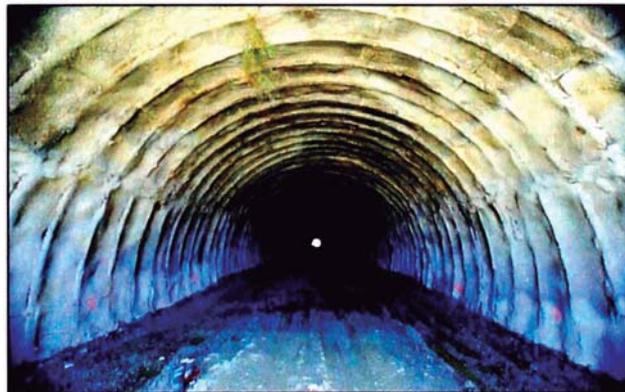


Figura 2.17 Cerchas embebidas en concreto lanzado

Fuente: Propia

2.4.1. Procedimiento de Trabajo

Como parte del control de calidad se verifica la cuadrilla mínima de trabajo que dirigida a través del capataz del frente se encarga de suministrar los servicios, seguimiento de la actividad, solución de posibles fallas y garantizar la correcta ejecución bajo los estándares de calidad requeridos.

A continuación se detalla el paso a paso dentro del procedimiento de ejecución de esta actividad:

- Según la clasificación del macizo rocoso se instruye el tipo de sostenimiento a ejecutar, será el especialista geomecánico el único encargado de instruir la ubicación y tipo de cercha metálica a colocar en el tramo evaluado.
- Se trasladará hacia el frente de trabajo los materiales para el armado de la estructura: tramos de cercha, pernos, arandelas y tuercas.
- Se comenzará por la colocación de los postes o verticales de la cercha, se verificará el nivel, alineamiento y progresiva de ubicación. Lograda la ubicación del elemento serán fijados en cáncamos de roca por puntos de soldadura, garantizando la rigidez necesaria que evite desplazamientos, generalmente dos puntos en cada hastial.
- Luego se procederá a colocar los elementos de la bóveda con ayuda de un equipo elevador, los elementos serán acoplados por pernos debidamente torqueados con llave de ajuste.
- Entre cercha y cercha se colocarán distanciadores según el espaciamiento instruido, con esto se logra rigidizar los elementos longitudinalmente en dirección del eje de excavación.
- Terminada su instalación serán retirados los equipos, herramientas y materiales del lugar para dar pase a la aplicación de concreto lanzado con espesor según lo instruido en la evaluación del tramo en sostenimiento.
- Cabe resaltar que para el desarrollo de esta actividad queda a criterio del especialista geomecánico y el jefe de guardia la colocación de un sostenimiento preventivo a base de concreto lanzado por motivos de seguridad, previniendo la caída de bloques sueltos en el macizo rocoso.

Es importante dentro del procedimiento implementar el registro para seguimiento y control de la actividad.

Una vez realizada la verificación mediante el registro correspondiente podemos dar fe de la conformidad de la actividad, es importante colocar los desvíos

encontrados durante el proceso para el análisis y toma de acciones correctivas que eliminen la causa raíz del problema.

2.4.2. Control de Calidad

Las cerchas metálicas instaladas como parte del sostenimiento deben ser sometidas a procedimientos de control de calidad para asegurar el fiel cumplimiento de los requisitos del proyecto. El control de calidad se realiza de forma visual durante las tres etapas del proceso.

- Control de previo

Es necesario contar con los dossiers de calidad de la fabricación de estos elementos donde se detallen los materiales utilizados, control de soldadura, control dimensional, recubrimiento de pintura, etc.

- Control de producción

Este control se realiza con la generación del registro durante la instalación de los anclajes.

- Control de conformidad

Concluida la colocación se da conformidad mediante inspección visual y con equipo topográfico para verificar el alineamiento, verticalidad y posición.



Figura 2.18 Control de Conformidad Cerchas Metálicas

Fuente: Propia

2.5. COSTOS DEL SOSTENIMIENTO

Como parte del análisis de influencia del tipo de sostenimiento en la excavación de los túneles y cavernas, se detalla a continuación los costos incurridos en cada frente:

Tabla 2.10 Presupuesto Sostenimiento Casa de Máquinas

CASA DE MÁQUINAS						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	17,380.31	14.91	102.35	259,140.42	1,778,874.73
Excavación Roca Tipo II	m3	5,930.73	20.98	150.96	124,426.72	895,303.00
Excavación Roca Tipo III	m3	0.00	46.21	347.87	0.00	0.00
Shotcrete e=5cm	m2	776.40	5.86	115.52	4,549.70	89,689.73
Shotcrete e=7cm	m2	2,514.21	7.22	153.13	18,152.60	385,000.98
Shotcrete e=10cm	m2	43.42	8.50	190.55	369.07	8,273.68
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	83.00	44.73	47.92	3,712.59	3,977.36
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=6m	und	603.00	84.87	265.03	51,176.61	159,813.09
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=9m	und	30.00	145.86	156.27	4,375.80	4,688.10
					465,903.51	3,325,620.67

Tabla 2.11 Presupuesto Sostenimiento Casa de Transformadores

CASA DE TRANSFORMADORES						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	817.13	13.81	92.76	11,284.57	75,796.98
Excavación Roca Tipo II	m3	6,901.22	19.05	134.73	131,468.24	929,801.37
Excavación Roca Tipo III	m3	3,188.28	40.92	305.75	130,464.42	974,816.61
Shotcrete e=5cm	m2	111.24	5.86	115.52	651.87	12,850.44
Shotcrete e=7cm	m2	629.20	7.22	153.13	4,542.82	96,349.40
Shotcrete e=10cm	m2	1,366.15	8.50	190.55	11,612.28	260,319.88
Shotcrete e=15cm	m2	36.19	14.17	311.26	512.81	11,264.50
Shotcrete e=20cm	m2	775.71	18.49	414.27	14,342.88	321,353.38
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=2.4m	und	95.00	28.48	71.37	2,705.60	6,780.15
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	36.00	44.73	47.92	1,610.28	1,725.12
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=6m	und	801.00	84.87	265.03	67,980.87	212,289.03
					377,176.63	2,903,346.86

Tabla 2.12 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Conducción

TUNEL DE CONDUCCION						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	30,797.85	41.09	255.42	1,265,483.66	7,866,386.85
Excavación Roca Tipo II	m3	25,655.15	45.42	286.08	1,165,256.91	7,339,425.31
Excavación Roca Tipo III	m3	7,334.79	56.19	366.45	412,141.85	2,687,833.80
Shotcrete e=5cm	m2	30,075.70	5.86	115.52	176,243.60	3,474,344.86
Shotcrete e=7cm	m2	1,934.99	7.22	153.13	13,970.63	296,305.02
Shotcrete e=8cm	m2	25.55	7.39	165.70	188.81	4,233.64
Shotcrete e=12cm	m2	27.51	10.60	247.61	291.61	6,811.75
Shotcrete e=10cm	m2	2,057.62	8.50	190.55	17,489.77	392,079.49
Shotcrete e=20cm	m2	54.04	18.49	414.27	999.20	22,387.15
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=2.4m	und	7,104.00	28.48	71.37	202,321.92	507,012.48
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	35.00	44.73	47.92	1,565.55	1,677.20
Perforación para drenaje D=38mm, L=1.50m	und	138.00	4.90	26.04	676.20	3,593.52
Spilling D=25mm, L=4m	und	9.00	42.99	121.57	386.91	1,094.13
Spiling D=25mm, L=3.5m	und	20.00	34.95	55.26	699.00	1,105.20
Spiling D=25mm, L=4.5m	und	108.00	46.18	71.06	4,987.44	7,674.48
Spiling D=25mm, L=6.0m	und	47.00	63.79	101.34	2,998.13	4,762.98
Cerchas metálicas (W= 4" x 13 lb/pie)	tn	8.02	2,741.04	6,121.10	21,983.14	49,091.22
					3,325,423.63	22,842,108.88

Tabla 2.13 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Descarga

TUNEL DE DESCARGA						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	4,401.71	22.96	133.36	101,063.26	587,012.05
Excavación Roca Tipo II	m3	7,646.26	28.01	176.56	214,171.74	1,350,023.67
Excavación Roca Tipo III	m3	4,767.51	56.73	401.60	270,460.84	1,914,632.02
Shotcrete e=5cm	m2	5,867.16	5.86	115.52	34,381.56	677,774.32
Shotcrete e=6cm	m2	184.34	5.54	124.28	1,021.24	22,909.78
Shotcrete e=7cm	m2	186.22	7.22	153.13	1,344.51	28,515.87
Shotcrete e=8cm	m2	235.92	7.39	165.70	1,743.45	39,091.94
Shotcrete e=10cm	m2	127.34	8.50	190.55	1,082.39	24,264.64
Shotcrete e=12cm	m2	108.27	10.60	247.61	1,147.66	26,808.73
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=2.4m	und	4,113.00	28.48	71.37	117,138.24	293,544.81
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	105.00	44.73	47.92	4,696.65	5,031.60
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=6m	und	24.00	84.87	265.03	2,036.88	6,360.72
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=9m	und	3.00	145.86	156.27	437.58	468.81
Spilling D=25mm, L=3m	und	125.00	48.62	52.09	6,077.50	6,511.25
Malla electrosoldada	m2	1,938.39	4.79	36.06	9,284.89	69,898.34
Cerchas metálicas (W= 4" x 13 lb/pie)	tn	34.08	2,353.33	6,387.42	80,201.49	217,683.27
					846,289.88	5,270,531.82

Tabla 2.14 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Aire y Cables

TNEL DE AIRE Y CABLES						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	1,639.31	29.43	177.76	48,244.89	291,403.75
Excavación Roca Tipo II	m3	2,889.01	37.66	245.81	108,800.12	710,147.55
Excavación Roca Tipo III	m3	1,887.16	61.30	434.02	115,682.91	819,065.18
Shotcrete e=5cm	m2	1,884.15	5.86	115.52	11,041.12	217,657.01
Shotcrete e=7cm	m2	931.47	7.22	153.13	6,725.21	142,636.00
Shotcrete e=10cm	m2	146.53	8.50	190.55	1,245.51	27,921.29
Shotcrete e=12cm	m2	331.00	10.60	247.61	3,508.60	81,958.91
Shotcrete e=20cm	m2	110.00	18.49	414.27	2,033.90	45,569.70
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=2.4m	und	475.00	28.48	71.37	13,528.00	33,900.75
Pernos de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	290.00	44.73	47.92	12,971.70	13,896.80
Perno de anclaje pasivo D=25mm, L=4m	und	22.00	48.22	129.18	1,060.84	2,841.96
Perno de anclaje pasivo D=25mm, L=6m	und	56.00	84.87	265.03	4,752.72	14,841.68
Spilling D=25mm, L=3m	und	10.00	48.62	52.09	486.20	520.90
Cerchas metálicas (W= 4" x 13 lb/pie)	tn	3.08	2,353.33	6,387.42	7,248.26	19,673.25
					337,879.50	2,428,759.13

Tabla 2.15 Presupuesto Sostenimiento Túnel de Paralelo (By Pass)

TUNEL PARALELO						
PARTIDAS		Metrado	PU \$	PU SI.	COSTO \$	COSTO SI.
Excavación Roca Tipo I	m3	18,192.63	44.66	277.64	812,482.86	5,051,001.79
Excavación Roca Tipo II	m3	13,373.44	49.37	310.97	660,246.73	4,158,738.64
Excavación Roca Tipo III	m3	3,842.29	61.08	398.33	234,687.07	1,530,499.38
Shotcrete e=5cm	m2	20,911.59	5.86	115.52	122,541.92	2,415,706.88
Shotcrete e=7cm	m2	1,784.03	7.22	153.13	12,880.70	273,188.51
Shotcrete e=10cm	m2	1,115.70	9.24	207.13	10,309.07	231,094.94
Shotcrete e=12cm	m2	423.35	10.60	247.61	4,487.51	104,825.69
Shotcrete e=15cm	m2	24.68	14.17	311.26	349.72	7,681.90
Perno de anclaje pasivo D=25mm, L=2.4m	und	4,422.00	28.48	71.37	125,938.56	315,598.14
Perno de anclaje pasivo D=25mm, L=3m	und	371.00	48.62	52.09	18,038.02	19,325.39
Perforación para drenaje D=38mm, L=1.50m	und	62.00	4.90	26.04	303.80	1,614.48
Cerchas metálicas (W= 4" x 13 lb/pie)	und	1.34	2,979.51	6,653.64	3,992.54	8,915.88
Malla electrosoldada	m2	198.66	5.21	39.20	1,035.02	7,787.47
					2,007,293.51	14,125,979.09

Como análisis de la información presentada tenemos que el macizo rocoso se presentó en su mayoría por rocas tipo I y II, cada una con un 40 % respecto a todo el volumen de material excavado.

Tabla 2.16 Metrado por tipo de roca

PARTIDA	UND	METRADO	
Excavación Roca Tipo I	m ³	73,228.94	40 %
Excavación Roca Tipo II	m ³	62,395.81	40 %
Excavación Roca Tipo III	m ³	21,020.03	20 %
Total general	m³	156,644.78	100 %

La excavación del macizo requirió en su mayoría sostenimiento con concreto lanzado en un 72 % del costo total invertido, pernos de anclaje en un 22 %, seguido por cerchas metálicas 4 %, malla electrosoldada 1 % y spilling bar 1 %.

Por lo tanto podemos concluir que el sostenimiento de concreto lanzado es el más utilizado debido a su versatilidad, seguridad y rapidez de colocación.

Tabla 2.17 Costo Total por partida de sostenimiento

PARTIDA	UND	COSTO TOTAL	
Cerchas metálicas	SI.	624,297.3	4 %
Malla electrosoldada	SI.	107,613.5	1 %
Pernos de anclaje	SI.	3'450,809.0	22 %
Shotcrete	SI.	11'140,179.0	72 %
Spilling	SI.	67,010.9	1 %
Total general	SI.	15'389,909.96	100 %

Fuente: Propia

CAPÍTULO III: CONCRETO ARMADO EN OBRAS SUBTERRÁNEAS

Luego de culminado el proceso de excavación subterránea con el sostenimiento correspondiente de la evaluación geomecánica (revestimiento primario) se procede con el planeamiento y la programación de las obras civiles, para este caso las obras de concreto armado.

El proyecto de la C. H. Quitaracsa dentro de las obras de caída (frente Huallanca) comprende la construcción de obras civiles en general como las cavernas de Casa de Máquinas y Casa de Transformadores, diversos túneles como el Túnel de Aire y Cables, Túnel de Descarga, Túnel de Acceso, Túnel Paralelo, Túnel de Presión, todos ellos contienen estructuras de concreto armado como: soleras, canaletas, losas, muros, columnas, vigas, puente grúa, etc.

Además del revestimiento de concreto en el Túnel de Presión a través de sus secciones típicas I, II, III y IV.

3.1. OBRAS CIVILES EN GENERAL

Dentro de las obras de concreto en general, para los trabajos en excavaciones subterráneas se tienen los siguientes procesos importantes a tener en cuenta:

3.1.1. Limpieza de Piso

Durante el proceso de excavación es necesario conformar una superficie de rodadura para el tránsito de los equipos livianos y pesados, el material que se utiliza es el propio de la excavación misma que es nivelado y compactado. Sin embargo luego de terminada la excavación, se procede al retiro de todo el material acumulado hasta encontrar la roca. La ejecución de esta partida se realiza en dos etapas: limpieza gruesa y limpieza fina.

Limpieza Gruesa: Esta consiste en el retiro de todo el material grueso utilizando equipo para remoción con cuchara (excavadora, retroexcavadora, pala haggloader) y equipo de transporte (volquete, dumper). El volumen es variable dependiendo de las sobre-excavaciones producto de las voladuras, el retiro debe continuar hasta encontrar roca sana.



Figura 3.1 Limpieza gruesa con Pala Haggloader
Fuente: Propia

Limpieza Fina: Terminada la remoción del material grueso se procede a una limpieza manual con aire y agua a presión, retirando todos los sedimentos y toda roca fracturada que salga manualmente. Es importante tener la roca sana y completamente limpia para garantizar estabilidad y adherencia.

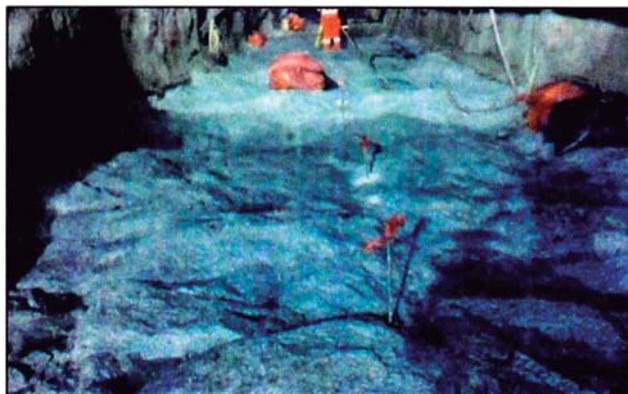


Figura 3.2 Limpieza fina manual
Fuente: Propia

3.1.2. Anclajes de Empotramiento

Dependiendo del diseño contemplado las estructuras de concreto pueden ser ancladas al macizo rocoso mediante los denominados “dowells”, compuestos por fierros corrugados de dimensiones proyectadas espaciados sistemáticamente en toda la superficie a anclar.

Dentro del diseño se debe contemplar: longitud de anclaje, longitud libre de la varilla, diámetro de la varilla de anclaje, diámetro del taladro y especificaciones del material de anclaje (resina epóxica o lechada de cemento).

El proceso para la colocación de los dowells es como sigue:

- Marcación topográfica de los puntos a perforar con estación total.
- Perforación del taladro con jumbo o equipo manual siguiendo el diámetro de broca y longitud del barreno de diseño.
- Limpieza del taladro con agua y aire a presión quitando todo material suelto.
- Colocación del material de anclaje: resina epóxica de forma manual o lechada de cemento con bomba de inyección.
- Instalación del fierro corrugado de forma manual o con equipo.
- Liberación topográfica de la ubicación final verificando su posición dentro de la estructura previo al vaciado de concreto.

3.1.3. Concreto de Regularización

Este concreto tiene la finalidad de restituir la superficie del piso cubriendo todas las sobre-excavaciones existentes, permitiendo realizar los trazos topográficos, colocación de acero, encofrado y vaciado de concreto de forma limpia y ordenada, similar a lo que se llamaría un solado en obras de superficie (ver figura 3.3). El concreto utilizado es de resistencia 140 kg/cm^2 y el volumen a utilizar debe ser calculado por secciones topográficas cada 50 cm a lo largo del elemento a concretar.

Previo a la colocación de concreto es necesario realizar un mapeo geológico del piso, aprovechando que se tiene la roca expuesta y completamente limpia, este mapeo servirá para justificar que las sobre-excavaciones existentes son producto de condiciones geológicas y no de mal procedimiento de voladura, además se puede identificar zonas de probable falla y el tratamiento a seguir para estas fundaciones que puede ser inyecciones de cemento o relleno dental.

Para tener una idea, el volumen de concreto colocado puede llegar a duplicar el volumen teórico perjudicando los costos si no se tiene un buen sustento con evidencia clara de las condiciones geológicas durante la excavación.



Figura 3.3 Concreto de Regularización en Túnel de Descarga
Fuente: Propia

3.1.4. Habilitación y Colocación de Acero

La colocación de acero se realiza convencionalmente como en cualquier obra de concreto armado. Su habilitación se realiza en superficie de acuerdo al despiece especificado en los planos del proyecto y posteriormente se traslada a obra mediante los equipos de eliminación de escombros, dumpers o volquetes de bajo perfil. Se debe tener en consideración también el acero adicional a colocarse en las sobre-excavaciones, este refuerzo tanto longitudinal como transversal es a criterio del proyectista y su colocación debe ser contabilizada dentro de las planillas de acero colocado como adicional.

La liberación del acero colocado se realiza según lo especificado en los planos del proyecto, llenándose una planilla establecida para cada estructura a vaciar donde se coloca el número de posición, longitud, diámetro y cantidad.

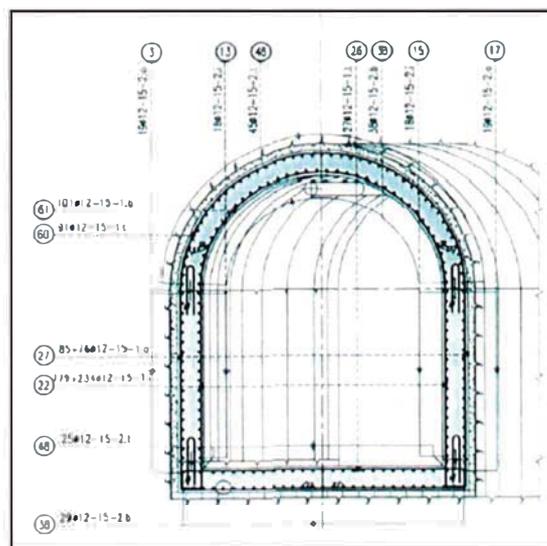


Figura 3.4 Esquema de posiciones de acero
Fuente: Planos de Proyecto Quitaracsa I

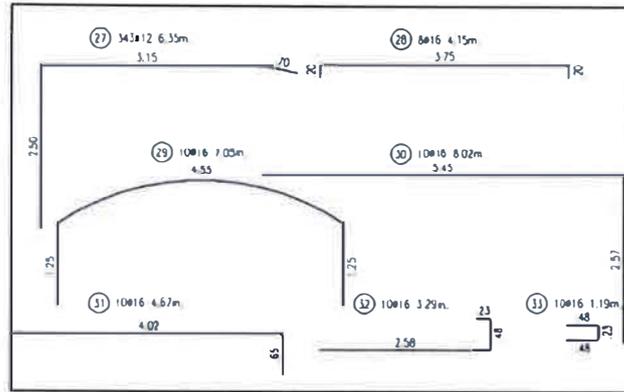


Figura 3.5 Diagrama de la geometría de cada posición

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

Esta planilla es el sustento para la valorización del acero realmente colocado y debe ser validada por las áreas de producción, calidad y supervisión de obra. También aquí se coloca el acero colocado por procedimiento constructivo, como separadores en zonas de doble malla en losa (burritos) o aceros anclados para la sujeción de los verticales.

3.1.5. Vaciado de Concreto

El proceso de vaciado de concreto se libera en tres etapas, pre-vaciado, vaciado y post-vaciado.

Pre - Vaciado: Como aseguramiento de la calidad en la etapa previa de vaciado lo más importante es describir un procedimiento de ejecución de la actividad donde se describe el paso a paso incluyendo los recursos de mano de obra y equipos necesarios mínimos.

El diseño de concreto también es parte del aseguramiento, los diseños elaborados son propios para la especificación de cada estructura, para eso se realizan los ensayos de laboratorio y campo, realizándose tandas de prueba y traslado a obra para los ensayos de consistencia, fragua, trabajabilidad y resistencia, cumpliendo los requisitos de durabilidad establecidos según el tipo de estructura a vaciar como la relación agua-cemento. Los diseños deben ser validados por la supervisión de obra en la etapa previa al vaciado.

Si se trata de estructuras de concreto masivo, entonces será necesario también el control de la temperatura en el concreto, según los requisitos del proyectista. Para esto se necesitan realizar tandas de prueba para control de temperatura: temperatura interna máxima y gradiente máximo entre la temperatura interna y superficial.



Figura 3.6 Solera en Túnel de Aire y Cables

Fuente: Propia

Vaciado: En la etapa de vaciado se realiza el control de calidad, donde se verifica que todo lo planeado en el aseguramiento se cumpla:

- El concreto de regularización completamente limpio y libre de filtraciones de agua, que deben ser canalizadas mediante mangueras o tuberías de PVC.
- El acero colocado es verificado en cuanto al recubrimiento y espaciamiento especificado, además del amarre y limpieza.
- Los encofrados son verificados por el área de topografía en cuanto a la posición, niveles, alineamiento y verticalidad. Además se verifica el arriostamiento según los planos del proveedor, asegurando todos los elementos de soporte.
- Verificación de la llegada del concreto a obra según los parámetros establecidos en la etapa de prueba: consistencia, trabajabilidad, fragua y resistencia. Es importante que todos los muestreos se realicen a pie de obra y no en laboratorio, con la finalidad de obtener resultados más precisos.
- Control de tiempo de vaciado, determinándose el ritmo en el vertimiento de concreto y la secuencia de colocación, garantizándose un correcto vibrado por capas de máximo 50cm de altura y evitando la aparición de juntas frías por tiempos prolongados de espera.
- Una hora antes de terminar el ciclo programado del vaciado se realiza un metrado del volumen faltante para hacer el requerimiento del saldo de concreto, esto con la finalidad de darle continuidad al proceso y terminar con la estructura en su totalidad.

Post - Vaciado: Posteriormente al vaciado es necesaria la verificación topográfica de los elementos vaciados, identificándose los puntos donde se corrió el encofrado y es necesario corregir las imperfecciones, si las hubiera. Además se verifica el acabado y curado especificado en el procedimiento para finalmente cerrar el registro con las firmas de todos os involucrados en el proceso.

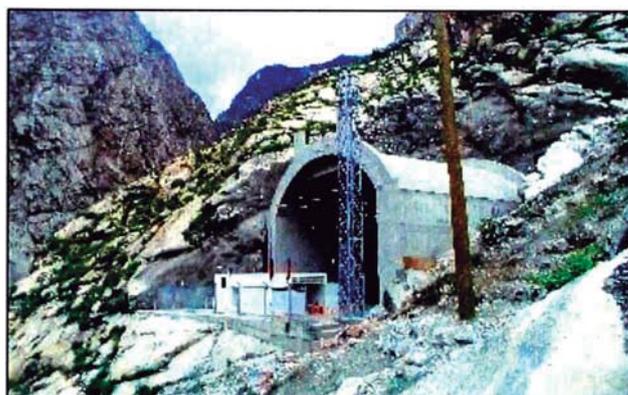


Figura 3.7 Portal de Túnel de Aire y Cables

Fuente: Propia

3.2. REVESTIMIENTO DE CONCRETO

Quizá la partida más importante dentro de todas las actividades a realizar en una central hidroeléctrica es el revestimiento de concreto en los túneles hidráulicos, donde las solicitaciones de presión exigen tramos revestidos en concreto armado para garantizar la operatividad de la conducción de agua hasta la Casa de Máquinas. El peculiar diseño de la Central Hidroeléctrica Quitaracsa contempla una pendiente constante de 16 % a lo largo de todo el túnel de presión hasta la llegada a la Casa de Máquinas (Anexo 02), por lo tanto la solicitud de resistencia en el túnel es elevada en un gran tramo.

El diseño contempla 4 tipos de revestimiento:

Sección Tipo I – 1944 m:

Revestimiento de concreto con tubería de acero de diámetro 1.9 m

Sección Tipo II – 943 m:

Revestimiento de concreto armado con sección hidráulica de 3.1 m

Sección Tipo III – 425 m:

Revestimiento de concreto armado con sección hidráulica de 3.3 m

Sección Tipo IV – 1604 m:

Revestimiento de shotcrete con espesor de 15 cm y malla electrosoldada.

Los trabajos realizados en el frente Huallanca comprenden los revestimientos tipo I, II y III, por lo tanto estos serán analizados en el presente informe.

3.2.1. Sección Tipo I

Es el tramo de llegada hacia la Casa de Máquinas donde la sollicitación de presión hacia la estructura es mayor. El revestimiento en este tipo de sección consiste en la colocación de tubería de acero con diámetro interno 1.9 m y relleno de concreto de 20 MPa en todo su alrededor.

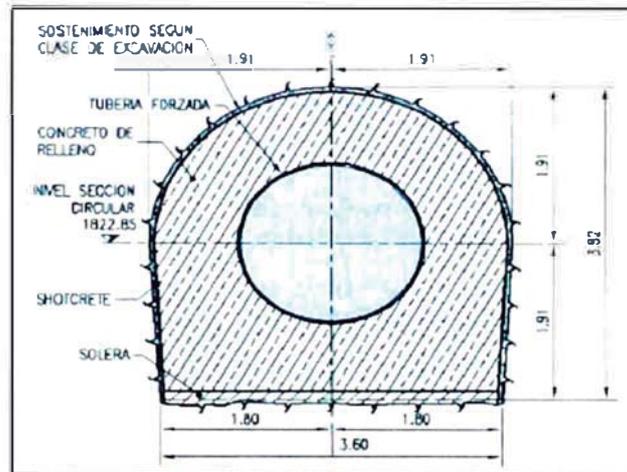


Figura 3.8 Sección Tipo I – Relleno Tubería Forzada

Fuente: Planos de Proyecto Quitaracsá I

El trabajo mecánico en la colocación de la tubería de acero es realizado por otro contratista, por lo tanto se describirá la metodología empleada y los requisitos del diseño para el relleno de concreto.

La programación en la ejecución de este tramo no consideró trabajos en simultáneo debido al poco espacio disponible. Los ciclos de trabajo para cada contratista fueron de 36 horas, donde se consideraba lo siguiente:

Contratista Mecánico: Como arranque consistió en el montaje de tres tuberías de acero, cada una de 20 m de longitud y 1.9 m de diámetro, dejando la última tubería presentada con soldadura primaria de posicionamiento. Luego el ciclo de avance del trabajo consistió en la colocación de 2 tuberías cada 36 horas.

Contratista Civil: Vaciado de concreto de dos tuberías hasta 1.5 m antes de la soldadura puntual en la tubería presentada.

El área de trabajo es dejada entre ambos contratista en óptimas condiciones de limpieza y orden, para la ejecución de la siguiente actividad.

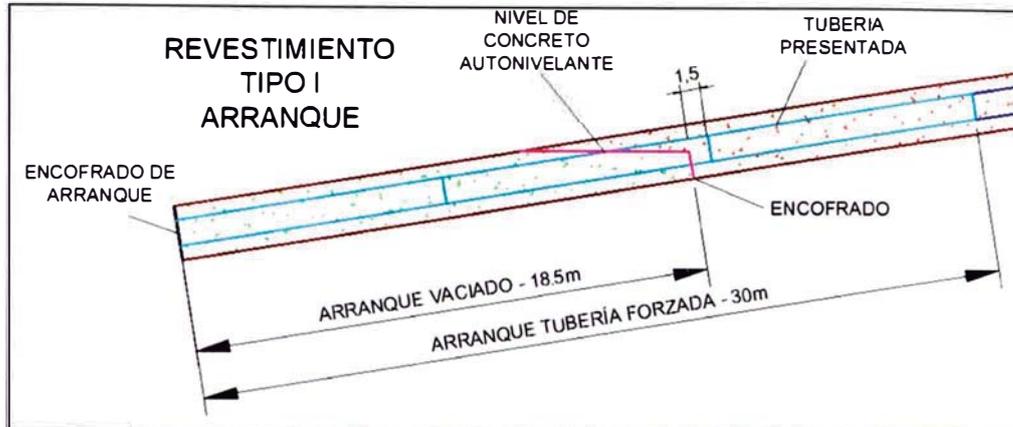


Figura 3.9 Metodología de Trabajo – Arranque

Fuente: Propia

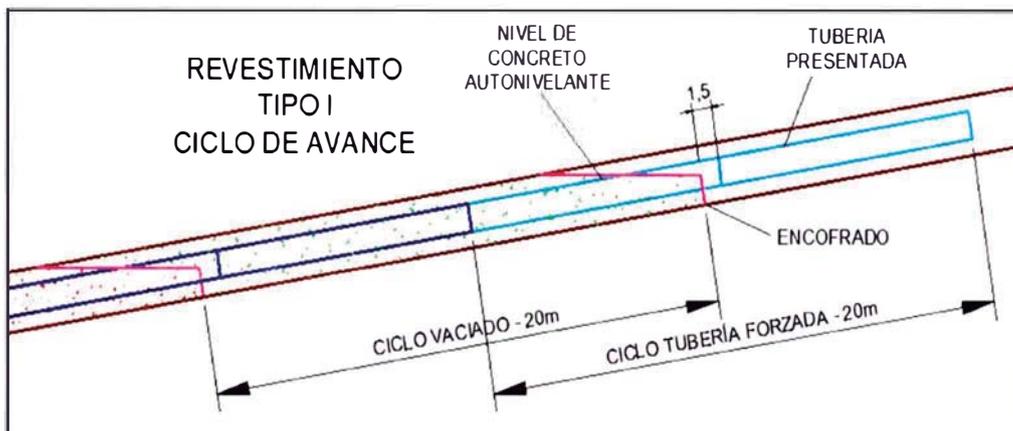


Figura 3.10 Metodología de Trabajo – Ciclo Típico

Fuente: Propia

En cuanto a las obras civiles, una vez recibida el área, se comienza con el traslado de la bomba de concreto, accesorios y herramientas necesarias para el inicio del vaciado, asimismo al término de vaciado debe sacarse la bomba y limpiar toda el área para su entrega, estos trabajos toman un total de 4 horas, quedando 32 horas para el trabajo de vaciado de concreto.

Para una longitud de 20 m de tubería forzada (2 tubos) le corresponde teóricamente un volumen de 229 m³, considerando un 30 % más por sobreexcavación del macizo rocoso se trabaja con un proyectado de 298 m³. Por lo tanto se debe colocar el concreto a un ritmo de 9.3 m³ por hora, con un ciclo de carguío-transporte-colocación de 71 min por cada hurón que transporta 3 m³ de

concreto, se debe tener 4 hurones como mínimo para garantizar la colocación del volumen de concreto en el ciclo de avance.

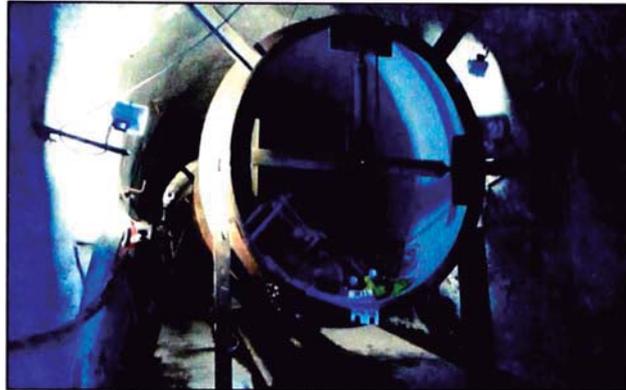


Figura 3.11 Tubería metálica en Tramo Forzado

Fuente: Propia

Las condiciones de relleno para la tubería de acero condicionaron desarrollar un diseño de concreto auto-nivelante, capaz de colocarse sin la necesidad de vibrarse y ocupar todo el espacio a llenar. Este diseño se logró con utilización de aditivos súper-plastificantes y estabilizadores para garantizar una homogeneidad en la mezcla sin llegar a la segregación. El método de control en campo para la verificación de la consistencia es el ensayo de extensibilidad, se estimó un valor de extensibilidad en planta de 70 a 75 cm y un valor a pie de obra para bombeo y descarga en el rango de 55 a 65 cm, según los resultados de prueba con la caja "L" y "U", con esto se garantiza un concreto auto-nivelante sin llegar a la segregación.

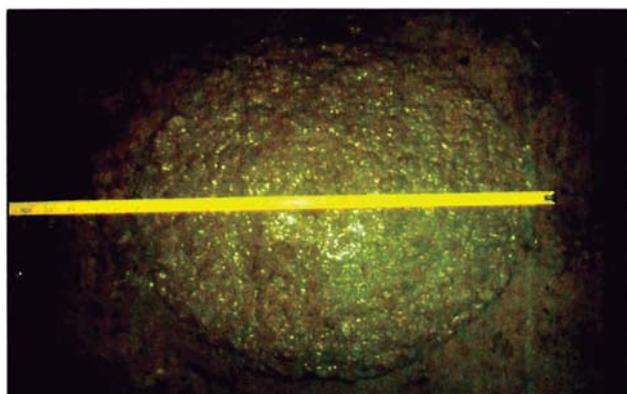


Figura 3.12 Ensayo de Extensibilidad en Concreto Auto-nivelante

Fuente: Propia

La descarga del concreto se realizó a través de un sistema de canaleta, tubería PVC de 12" a media caña, desde el hurón hasta la tolva de la bomba de

concreto, a partir de allí se lanza a través de tuberías de acero hacia la cuña de relleno, terminando su llegada nuevamente con un tramo de canaleta PVC. Todo esto se retira conforme se avanza con el vaciado,



Figura 3.13 Colocación de Concreto Auto-nivelante

Fuente: Propia

El protocolo de inspección es semejante al registro para colocación de concreto, la diferencia está en los requisitos para monitoreo de concreto en cuanto a los ensayos de extensibilidad y la entrega final hacia el otro contratista en condiciones de orden y limpieza óptimas.

3.2.2. Sección Tipo II y III

Aguas arriba del tramo en sección típica I, se encuentran los tramos revestidos en concreto armado. Estos tramos especifican una distribución de acero longitudinal y transversal según planos del proyecto, embebidos en un concreto de resistencia 350 kg/cm^2 y una relación agua-cemento de 0.48 para superficies en contacto con agua a velocidad.

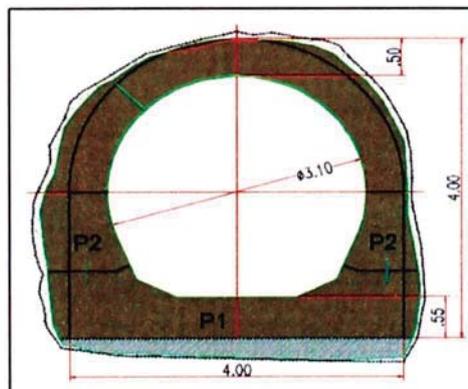


Figura 3.14 Sección Tipo II - Revestimiento de Concreto ($e=0.5 \text{ m}$)

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

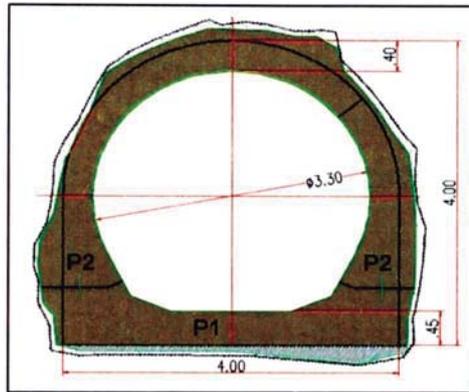


Figura 3.15 Sección Tipo III – Revestimiento de Concreto ($e=0.4\text{ m}$)

Fuente: Planos de Proyecto Quitaracsa I (Anexo 12)

Para este tipo de estructura se establecieron requisitos especiales previos a las actividades a realizar que detallaremos a continuación:

- Verificación Topográfica

Cumplir con la sección teórica del revestimiento fue el requisito establecido por el proyectista, con una tolerancia de 5 cm hacia dentro de la sección. Para esto se realizaron recorridos internos, marcando las zonas a retirar para cumplir el requisito, posteriormente se verificó en conjunto con la supervisión de obra y se validaron los registros de conformidad.

La respuesta a la presencia de estas zonas afectadas es el sobre-volumen de shotcrete lanzado producto de la complejidad de la operación a pesar de contar con calibradores. Por otro lado existen zonas de sostenimiento instruido mayor a 5 cm que invaden la sección teórica del revestimiento y deben ser retiradas a sección completa.

- Verificación de Shotcrete

Otro de los requisitos establecidos por el proyectista es el retiro de las zonas de shotcrete bombeadas. Para la identificación de estas zonas se realiza un recorrido por el tramo evaluado golpeando con picota el shotcrete colocado, el sonido "bombo" a vacío (hueco – cajoneado) permite marcar las zonas afectadas.

La presencia de estas zonas tiene principalmente dos causas:

a. Zonas de sostenimiento con shotcrete que no tienen adherencia a la roca, es decir, existe un vacío en el contacto shotcrete-roca que genera el sonido bombo. Esto debido a la falta de limpieza en la superficie de la roca.

b. Zonas donde el macizo presenta lajamiento, es decir, presencia de fisuras abiertas denominadas lajas que al ser golpeadas por la picota generan el sonido bombo. Esta condición geológica es característica de la granodiorita afectada por el proceso de voladura.

Por lo tanto resulta necesario la extracción de muestras diamantinas en las zonas marcadas para la determinación de los motivos antes mencionados.

En el proyecto se definió que el tratamiento para estas zonas sería la realización de inyecciones de contacto, aprovechando la distribución sistemática de los taladros a lo largo de todo el túnel. También podrían ser reubicados o si fuera necesario se marcarían taladros adicionales para cumplir con el tratamiento de todas las zonas afectadas.

- Verificación de Inyecciones

Un factor importante que es requisito para todos los túneles a revestir son las inyecciones de impermeabilización, consolidación y contacto. Es por tal motivo que su análisis se realizará en el capítulo V.

Este requisito previo al revestimiento del túnel se refiere a la identificación de las zonas donde se dejarán los pases para las inyecciones (ver figura 3.16), teniendo en cuenta los tramos con filtraciones de agua, sobre-excavaciones, mayor sollicitación estructural y como se mencionó en el punto anterior zonas con shotcrete bombeado.

Teniendo la conformidad de estas verificaciones previas, se puede iniciar con las actividades propias de esta estructura. El control de calidad comprende las siguientes actividades dentro del proceso:

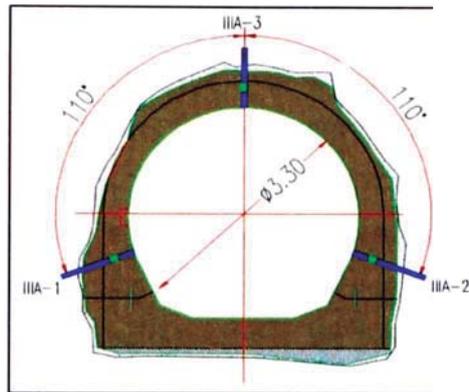


Figura 3.16 Inyecciones de Contacto en Túnel Revestido

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcaca I

Etapa P1

Esta etapa comprende la ejecución de la estructura en la solera y se realiza en paños de 24 m. Aquí se realizan controles como: limpieza, control de filtraciones, acero, encofrado, concretado, acabado y curado.

El control de filtraciones surge por la necesidad de evitar un lavado de concreto con el flujo de agua que emerge del macizo rocoso a través de las fracturas abiertas en el piso. Esto se logra captando el agua a través de mangueras y conduciéndola a través del concreto hacia la parte exterior del paño aguas abajo, luego de la fragua del concreto y antes del vaciado en el siguiente paño, estas mangueras son selladas cortando los flujos de agua en cada paño.

Además debe drenarse el agua que filtra de la bóveda y hastiales captándolas a través de mantas y canaletas adosadas para evitar que dañen el acabado durante toda la etapa de fraguado.

La colocación de acero es repetitiva en todos los tramos, para esto es necesario verificar en taller todas las piezas a colocar, codificándolas para un mejor control. Se genera una planilla típica conciliada con la supervisión de obra con las modificaciones necesarias según las discrepancias encontradas en los planos del proyecto.

El concretado del primer paño trajo como consecuencia dos cambios en el encofrado para mejora de la calidad y rendimiento en la colocación de concreto:

- Para darle la inclinación de 52 % en los laterales del piso se utilizaron paneles fenólicos pre-moldeados, sin embargo al tener un concreto de baja consistencia se produjeron cangrejas durante la colocación.

En consecuencia se modificó el proceso reemplazando los paneles fenólicos por cerchas metálicas pre-fabricadas colocadas cada 2 m y fijadas a la solera mediante cáncamos. Estas cerchas servían de guía durante la colocación para enrasar la superficie y cumplir la geometría requerida, cabe resaltar que estos elementos eran retirados antes de la fragua del concreto.

- Para la colocación del encofrado en la parte final del primer paño (frizo) se utilizó triplex 8 mm, sin embargo el trabajo se complicaba por la continuidad del acero y la correcta fijación del triplex, alargando los tiempos de culminación para la ejecución del concretado.

En consecuencia se modificó el proceso reemplazando el triplex por malla expanded metal como encofrado en el frizo, este material es muy fácil de colocar y amarrar, sus agujeros permiten el libre paso de las varillas de refuerzo y funcionan muy bien para la contención del concreto.

El acabado fue liso utilizando plancha metálica, para el curado de la estructura se dejó pasar el agua de filtración a través del paño y se utilizó curador químico en los laterales inclinados.



Figura 3.17 Acabado de Etapa P1

Fuente: Propia

Etapa P2

Esta etapa se planificó con la utilización de encofrado metálico de longitud 12 m dejando ventanas de 0.5 m x 0.5 m para inspección y descarga, además de vochetones de 6" en la bóveda para colocación del concreto.

Es importante que el diseño del encofrado contemple la correcta posición de los vibradores neumáticos, esto dependerá de la amplitud de vibración y la secuencia de vaciado.

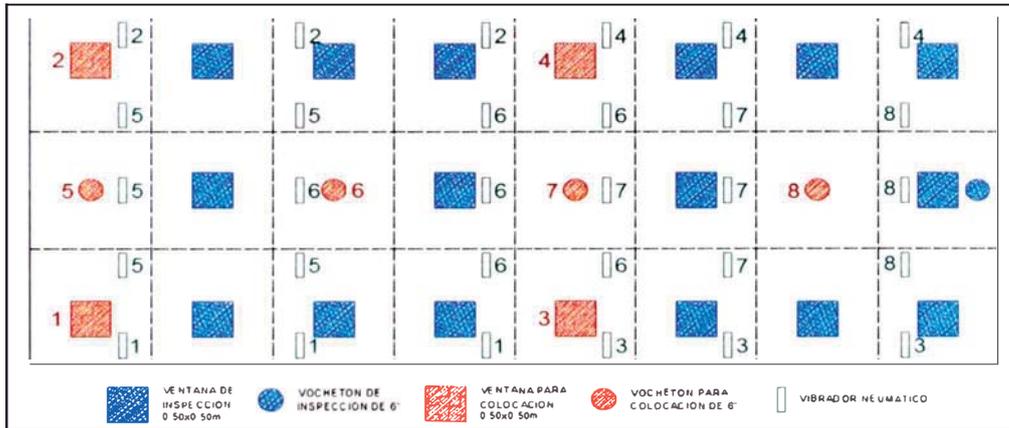


Figura 3.18 Esquema secuencia de vaciado y vibrado etapa P2

Fuente: Propia

El control de calidad contempla lo siguiente:

- 1era Liberación: Se realiza antes de correr el encofrado metálico y se verifica: limpieza, cinta metálica, pases para inyección, control de filtraciones y acero de refuerzo. Al igual que la etapa P1 el control de filtraciones se realiza captando el agua a través de mangueras y conduciéndola hasta fuera del encofrado aguas abajo. Durante la liberación del siguiente paño estas mangueras son estranguladas cerrando el flujo de agua.



Figura 3.19 Verificación de tramo previo al encofrado

Fuente: Propia

- 2da Liberación: Se realiza cuando el encofrado metálico está posicionado y se verifica el recubrimiento, encofrado metálico, encofrado frizo, vibradores neumáticos y control de mortero y concreto.

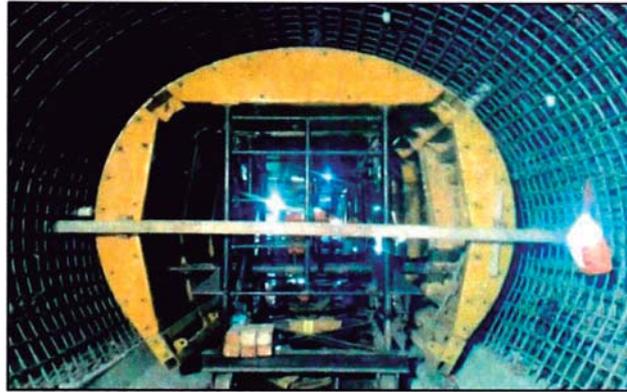


Figura 3.20 Colocación de encofrado metálico etapa P2

Fuente: Propia

- 3era Liberación: El diseño de concreto debe especificar según los ensayos de fragua el tiempo estimado para desencofrado del paño, para el caso del proyecto Quitaracsá I el tiempo fue de 10 horas. Luego del desencofrado se verifica el curado de la estructura que consiste en limpieza con agua a presión, aplicación de curador químico por aspersion y a partir de las 2 horas regado constante cada hora. Por otro lado se realiza un mapeo de los defectos encontrados post-vaciado como registro y evidencia de las reparaciones a realizar en la estructura.

- 4ta Liberación: Se verifica las reparaciones y el acabado, con la conformidad en esta etapa se da por entregado el paño cumpliendo con los paños del proyecto y especificaciones técnicas.

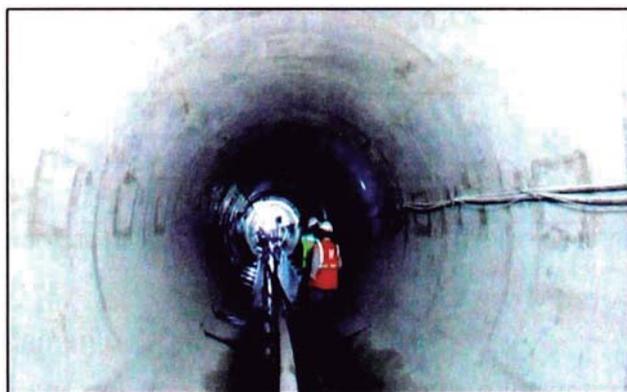


Figura 3.21 Inspección de acabado etapa P2

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV: INYECCIONES DE CEMENTO EN TUNEL REVESTIDO

En todo proyecto hidroeléctrico se debe garantizar que las estructuras no fallen debido a la presión que ejerce el agua durante su conducción, estas presiones pueden ser muy elevadas si se trata de diferencias de nivel de más de 800 m. Debido a estas solicitaciones se deben tomar todas las precauciones para no dejar posibles vacíos en el macizo rocoso o en el concreto que se conviertan en puntos de debilidad de la estructura.

4.1. ESPECIFICACIONES

El proyecto Quitarcasa contempla la ejecución de inyecciones de impermeabilización, consolidación y contacto que se rigen a las especificaciones técnicas suministradas por el diseñador.

4.1.1. Consideraciones Generales

Se detalla a continuación las condiciones generales a cumplir para los trabajos proyectados de la central.

Tiempo de Espera

Se define como el tiempo de espera necesario para garantizar la ejecución eficiente de las inyecciones de lechada de contacto y consolidación en concordancia con los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Consideraciones previas a la etapa de inyección

Etapa de Trabajo	Tiempo de Espera
Revestimiento de Concreto vs Inyección	Mínimo 30 días (para inyecciones de contacto) Mínimo esfuerzo de concreto $f_c = 20$ MPa
Inyección de Contacto vs Inyección de Consolidación	Mínimo esfuerzo de lechada $f_g = 12$ MPa
Inyección vs Perforación (distancia < 15m)	Mínimo esfuerzo de lechada $f_g = 5$ MPa

Fuente: Especificaciones Técnicas del Proyecto Quitarcasa I

Condiciones del Cemento

El cemento debe ser del tipo Portland, conforme a la norma ASTM C150, la superficie específica (Blaine) estará en el rango de 4500 a 5000 cm^2/gr . De utilizarse cemento microfino la superficie específica estará en el rango de 8000 a

9000 cm²/gr con 95 % de partículas < 10 micras y con tamaño máximo de partículas 30 micras.

Condiciones en Mezcla de Lechada

Las mezclas de lechada deben cumplir las propiedades fundamentales de: Estabilidad (coloidal), Reproducibilidad (en laboratorio y en sitio) y Durabilidad (elección correcta de materiales, resistencia).

Además deben cumplir las siguientes propiedades:

Tabla 4.2 Parámetros de control en mezclas de lechada

Parámetro	Restricción
Sedimentación	< 3 % Cemento convencional < 2 % Cemento microfino
Viscosidad (Cono de Marsh 4.7mm)	35 – 45 segundos
Esfuerzo de Compresión	> 2 MPa a las 48 horas > 15 MPa a los 28 días
Temperatura en taladro	5 a 28 °C (temperatura estacional que variará según las pruebas de campaña)
Fragua inicial (Agua Vicat)	2 horas
Relación agua / cemento	0.60 a 0.80

Fuente: Especificaciones Técnicas del Proyecto Quitaracsá I

Ensayos a realizar para aprobación de la mezcla y control de calidad durante el proceso de producción: Distribución del tamaño de grano, Límites de Atterberg, Superficie Específica del cemento, Viscosidad, Densidad (balanza de lodos), Sedimentación (probeta de 1 litro), Inicio de Fragua, Temperatura de agua y lechada.

Condiciones del Taladro

Los taladros son ubicados de acuerdo a los planos del proyecto, donde se especifica la longitud, diámetro y cantidad por anillo.

Previo a la inyección los taladros deben encontrarse completamente limpios, libres de cualquier sustancia extraña que impida el correcto flujo de la mezcla de lechada a través del mismo.

Condiciones del proceso

Utilización de packers mecánicos o inflables dependiendo de la posición de obturación y de las presiones máximas admisibles del material. Se colocará manómetro para medición de presión en la boca del taladro.

El criterio de parada será considerando dos requisitos: presión máxima establecida durante 10 minutos y caudal de consumo menor a 0.2 litros/minutos a presión constante.

4.1.2. Tipos de Inyección

Inyecciones de Impermeabilización

El objetivo de las inyecciones de impermeabilización es alargar el camino de drenaje para reducir la filtración a lo largo del revestimiento.

Inyecciones de Consolidación

El objetivo de las inyecciones de consolidación es reducir las fugas sellando los daños de las explosiones y fenómenos de lajeamiento en el macizo rocoso originados durante la excavación de los túneles.

Inyecciones de Contacto

El objetivo de las inyecciones de contacto es sellar los posibles vacíos entre el shotcrete y concreto o entre el revestimiento de acero y concreto.

4.2. FRENTES DE TRABAJO

Dentro del proyecto Quitaracsa I el diseñador contempló tres zonas para inyección debido a las solicitaciones de presión existentes: Revestimiento de Concreto, Transición Concreto – Blindaje y Tapón de Concreto Túnel de Presión, cada una con características de funcionamiento distintas que se verán a continuación.

4.2.1. Revestimiento de Concreto

Tratado en el capítulo anterior, esta estructura considera inyecciones de consolidación y contacto en las Secciones Típicas II y III.

- Inyecciones de Consolidación

Las inyecciones de consolidación fueron definidas en tramos específicos según la evaluación del especialista geomecánico, teniendo en cuenta las zonas más afectadas del macizo, con índice de calidad de la roca muy bajo. Por el contrario las inyecciones de contacto fueron establecidas a lo largo de todo el revestimiento teniendo en cuenta los paños de 12 m en el vaciado P2 de la estructura.

La secuencia de inyección considera primero realizar las inyecciones de consolidación de arriba hacia abajo, para luego continuar con las inyecciones de contacto en el sentido contrario, es decir de abajo hacia arriba.

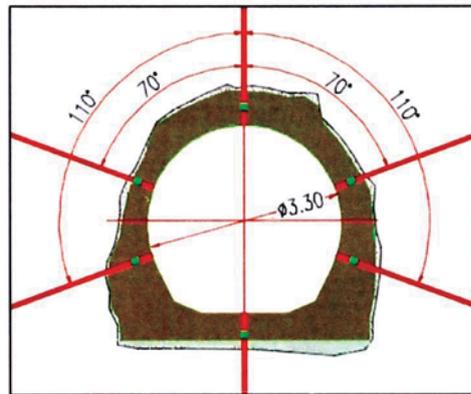


Figura 4.1 Distribución de Taladros para Consolidación – Tipo III

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

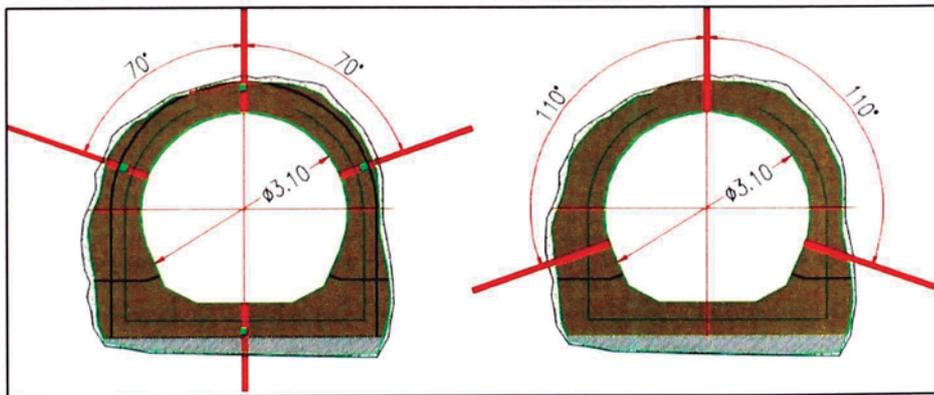


Figura 4.2 Distribución de Taladros para Consolidación – Tipo II

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

Para ambos casos los taladros instruidos fueron de 5m de longitud con diámetro de 38 a 64 mm, utilización de packer inflable a 1 m dentro de la roca y presiones de rechazo de 30 bares por encima de la presión de agua encontrada.

- Inyecciones de Contacto

Los anillos de inyección de contacto para ambas secciones tienen dos geometrías distintas que van alternando cada 3 m a lo largo de todo el túnel en forma de tres-bolillo.

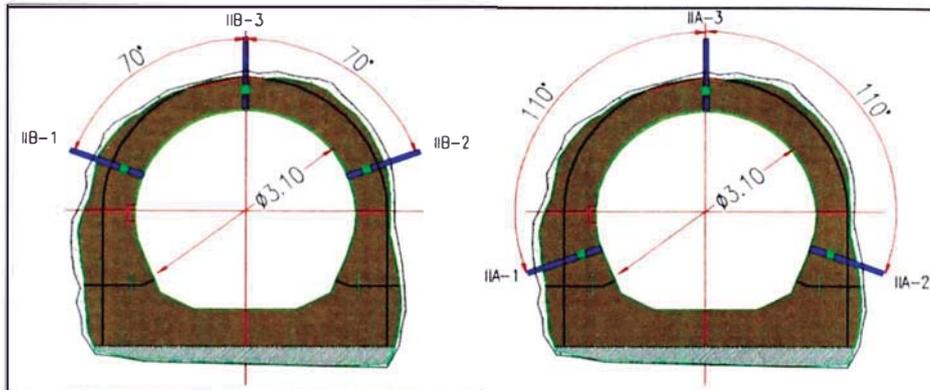


Figura 4.3 Inyecciones de Contacto – Sección Típica II

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

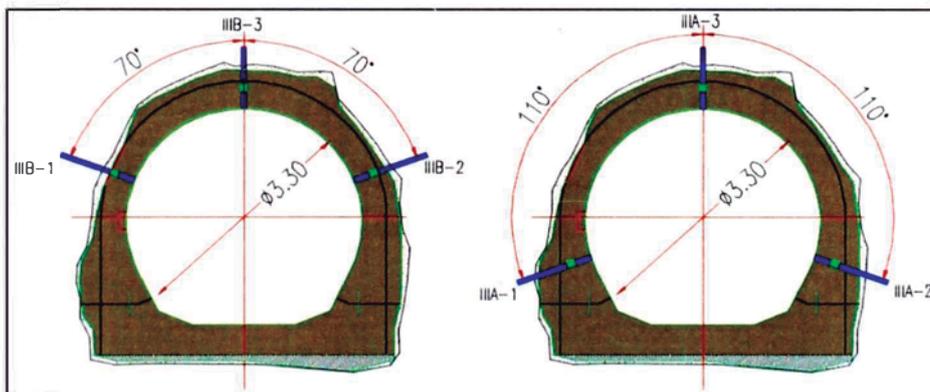


Figura 4.4 Inyecciones de Contacto – Sección Típica III

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

Los taladros instruidos son de 1 a 1.5 m de longitud, con diámetro de 38 a 64 mm, con packer mecánico colocado a 25 cm de la cara del concreto y presión de rechazo de 3 bares por encima de la presión de agua encontrada.

4.2.2. Transición Concreto – Blindaje

Se considera la estructura más sensible a las solicitaciones de presión debido al cambio de sección hidráulica de diámetro 3.10 m (sección típica II) a 1.90 m (revestimiento de acero).

La secuencia del diseñador contempla primero inyecciones de impermeabilización en 2 fases, seguida de inyecciones de consolidación en 1 fase y por último pero no menos importante inyecciones de contacto en 1 fase.

- 1era Fase – Impermeabilización 1 de 2

Realizada antes del concretado del revestimiento, cuando el frente sólo tenía sostenimiento primario. Los taladros son de 15 m y las inyecciones se realizaron en 3 etapas con tramos de 5 m cada uno, packers colocados a 0.5 m, 5 m y 10 m dentro de la roca con presiones de rechazo en cada etapa de 10 bar, 20 bar y 30 bar por encima de la presión del agua encontrada.

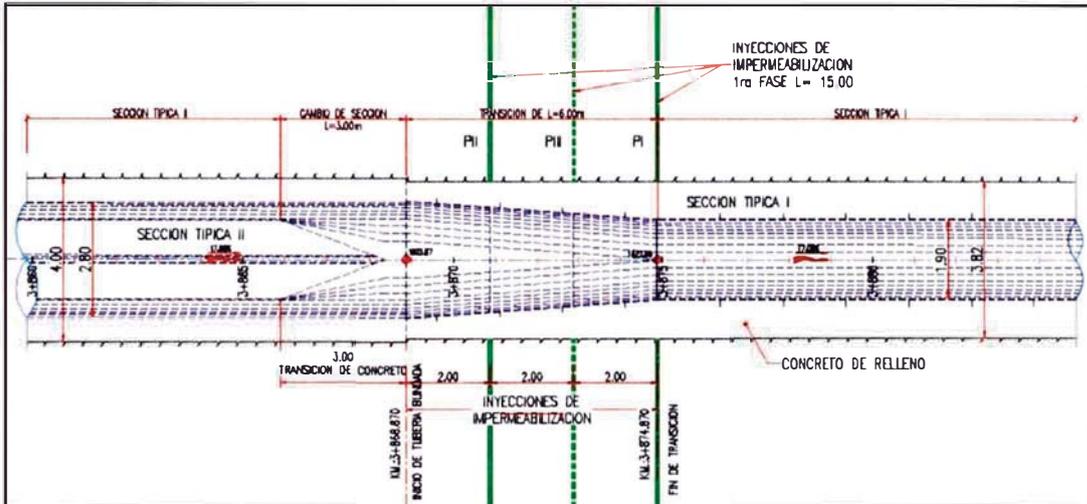


Figura 4.5 Anillos de Impermeabilización 1 de 2
Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

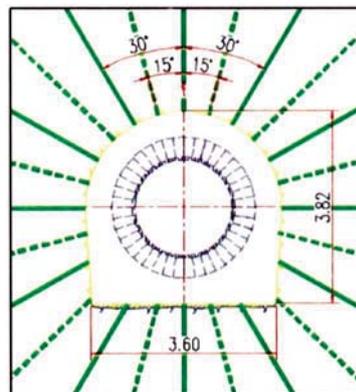


Figura 4.6 Distribución de taladros para Impermeabilización 1 de 2
Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

- 2da Fase – Impermeabilización 2 de 2

Realizada con el concretado de relleno en la Tubería Forzada completamente terminado. Su ejecución comprende taladros de 4 m, diámetro de 38 mm, packer colocado en la boquilla del blindaje y presión de rechazo de 15 bares por encima de la presión de agua encontrada.

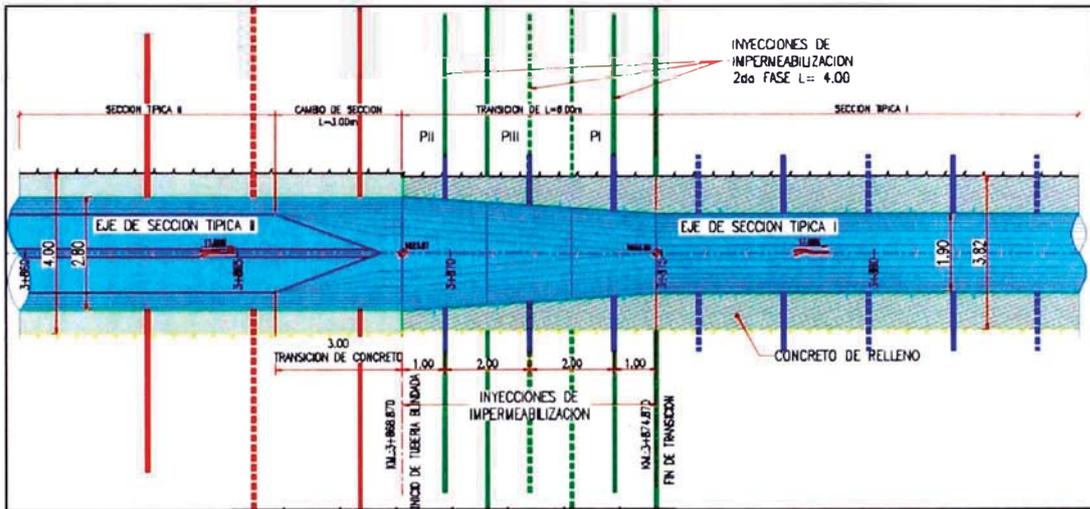


Figura 4.7 Anillos de Impermeabilización 2 de 2

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

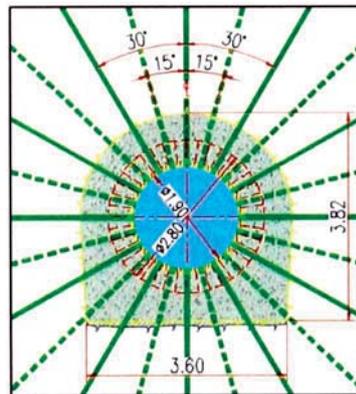


Figura 4.8 Distribución de taladros para Impermeabilización 2 de 2

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

• 3ra Fase – Consolidación 1 de 1

Su ejecución comprende taladros de 12 m, 8 m y 4 m distribuidos en 3 anillos distanciados cada 2.5 m con diámetro de 64 mm, packer colocado a 30 cm de la cara de concreto y presión de rechazo de 12 bares por encima de la presión de agua encontrada.

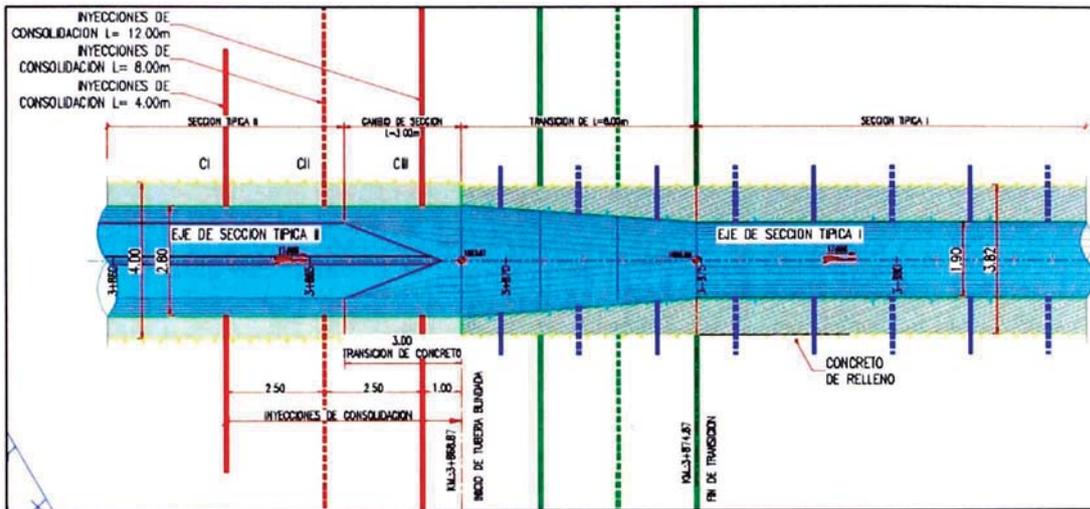


Figura 4.9 Anillos de Consolidación 1 de 1

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

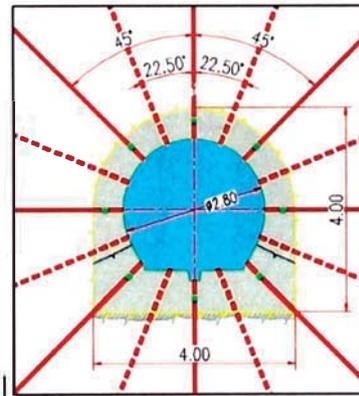


Figura 4.10 Distribución de taladros para Consolidación 1 de 1

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

• 4ta Fase – Contacto 1 de 1

Su ejecución comprende taladros de 0.5 m en roca con diámetro de 38 mm, packer colocado en la boquilla del blindaje y presión de rechazo de 3 bares por encima de la presión de agua encontrada.

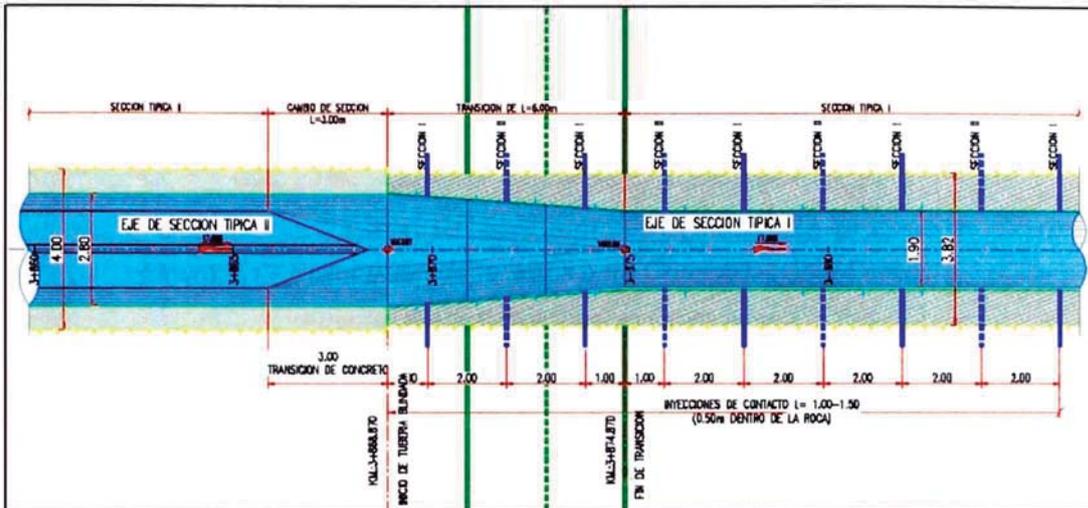


Figura 4.11 Anillos de Contacto 1 de 1

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

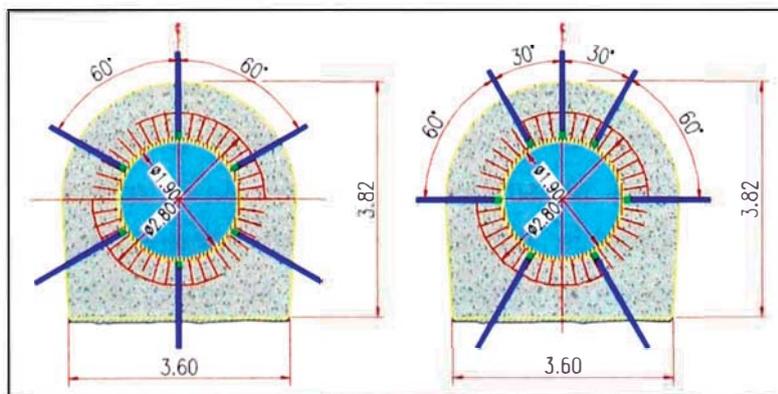


Figura 4.12 Distribución de taladros para Contacto 1 de 1

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

4.2.3. Tapón de Concreto – Túnel de Presión

Este tapón forma parte del sellado en la Galería de Construcción, esta estructura se diseñó como un acceso temporal para excavar el Túnel de Presión desde dos frentes de trabajo disminuyendo el tiempo estimado de la ruta crítica.

Muy semejante a lo detallado para el Revestimiento de Concreto, la secuencia del diseñador contempla inyecciones de consolidación, contacto y una pantalla

de impermeabilización opcional que será considerada si durante la etapa de pruebas de carga se justifica necesaria.

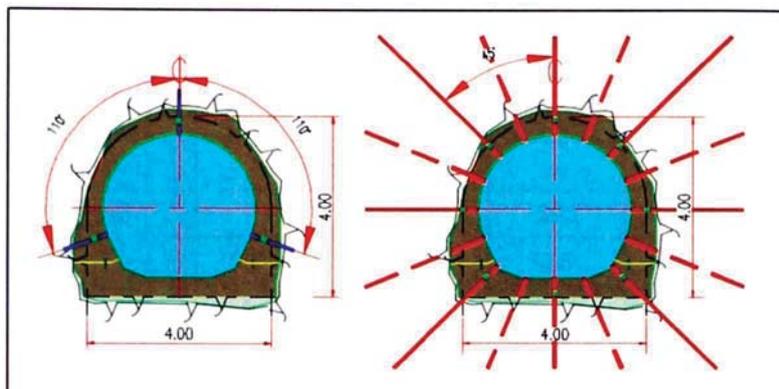


Figura 4.13 Distribución de taladros para Consolidación y Contacto

Fuente: Planos de Proyecto Quitarcasa I

4.3. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad relacionado con esta actividad se da inicio con el estudio de todas las especificaciones técnicas y planos de proyecto descritos en los párrafos anteriores, de aquí se define la metodología de trabajo a emplear donde el área de calidad debe estar involucrada en su revisión.

La metodología debe contemplar la revisión de materiales, ensayos de laboratorio, desarrollo de diseños, ensayos de producción, equipos a emplear (perforación e inyección), secuencia de trabajo (paso a paso) y los registros de trabajo. En el Anexo 13 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de inyección de consolidación donde se describe el paso a paso desde la perforación hasta el cierre de válvula finalizando la inyección, incluyendo las condiciones de paso en cada etapa del proceso.

A continuación se detallan los principales aspectos dentro del proceso de inyecciones que deben controlarse para asegurar la eficiencia de las inyecciones.

4.3.1. Mezclas de Lechada Desarrolladas

El desarrollo de las mezclas de lechada implica realizar los ensayos de laboratorio y las réplicas in-situ con la utilización de los equipos de mezclado a utilizar en producción.

Tabla 4.3 Diseños de Lechada elaborados para inyecciones

PARÁMETROS	EE. TT.	TIPO MS		MASTER ROC	
		DL-30	DL-36	DL-32	DL-34
Diseño Lechada	---	DL-30	DL-36	DL-32	DL-34
Cemento (kg)	---	42.5	42.5	20	20
Agua (litros)	---	29.75	25.5	15.70	11.48
Polyheed (ml)	---	---	---	200	320
Glenium 3800 SCM (ml)	---	150	250	100	200
Relación a/c	0.6 - 0.8	0.7	0.6	0.8	0.6
Temperatura Mezcla (°C)	5 – 35	32.8	31.5	29.8	33.6
Temperatura Ambiente (°C)	---	30.0	29.5	28.9	32.0
Fluidez Final (segundos)	30 – 45	32.3	37.3	38.0	40.3
Sedimentación 2 horas	< 2 %	---	---	2 %	0 %
Sedimentación 2 horas	< 3 %	1.5%	1.8 %	---	---
Fragua Inicial (horas)	---	2.5	2	6.56	5.71
Edad (días)	2	2	2	2	2
f'c (kg/cm ²)	20	58	99	36	163
Edad (días)	28	28	28	28	28
f'c (kg/cm ²)	150	170	192	261	315

Fuente: Tabla de Diseños de Lechada Proyecto Quitaracsá I

Las campañas de prueba previa a la ejecución de los trabajos son importantes para solicitar algún cambio en los parámetros de diseño:

- Rango de Fluidez 35 – 45 segundos

La utilización de aditivos súper-plastificantes permiten cumplir con los rangos de fluidez a pesar de tener lechadas muy densas (a/c 0.6 – 0.8), sin embargo cuando la lechada se mantiene en suspensión por más de 1 hora la mezcla tienden a aumentar sus tiempos de fluidez. En consecuencia para garantizar que la fluidez se mantenga en el rango especificado durante todo el proceso de inyección se aprobó la ampliación del rango entre 30 a 45 segundos.

- Temperatura de mezcla 5 – 28 °C

De la misma forma se aprobó como máxima temperatura admisible de la mezcla 35 °C, debido a las condiciones ambientales dentro del revestimiento donde la temperatura podía alcanzar los 33 °C.

4.3.2. Obturadores empleados

Uno de los requisitos esenciales en todo proceso de inyección es que la actividad se realice de forma continua, para esto es importante que la obturación del taladro se realice de forma correcta, controlando el desgaste de los materiales, el tamaño del obturador y las presiones de inflado.

El tipo de obturador a escoger depende del diámetro del taladro, densidad de la mezcla de lechada y la presión máxima de inyección, para esto nos debemos dirigir a la ficha técnica del proveedor.

- Tamaño del obturador

Depende del diámetro del taladro perforado, por ejemplo para un taladro de 64 mm según la tabla 4.4 se escogería obturador con diámetro nominal de 42 mm.

El tubo central se define como la parte del obturador por donde pasará la mezcla de lechada hasta llegar al taladro a inyectar, es importante que el tamaño del tubo central sea el suficiente para garantizar que la mezcla pase libremente sin obstrucciones a lo largo de la inyección.

Teniendo en cuenta la densidad de los diseños elaborados se determinó la utilización de obturadores de 56 mm, con tubo central de 20 mm y dilatación máxima de 125 mm.

Tabla 4.4 Dimensiones de obturadores inflables modelo Bimbar

Diámetro Nominal (mm)	Tubo Central Diámetro Interior (mm)	Dilatación máxima Diámetro (mm)
28	8	55
30	8	55
42	17	98
56	20	125
72	35	160
85	35	185
102	53	200
130	83	270
170	83	350

Fuente: Hoja Técnica de obturadores Geopro

- Presión máxima de inflado

La presión de inyección debe ser inferior (dentro de una relación de 1.5 como mínimo) a la presión de inflado para garantizar que el obturador no se desplace o reviente.

Por ejemplo para las inyecciones con presión de rechazo máxima de 50 bares, se debe garantizar una presión mínima de trabajo de 75 bares en el obturador.

El diagrama mostrado muestra los rangos de presión de trabajo máximas en relación al tamaño del obturador y el diámetro del taladro, para el obturador de 56 mm y taladro de 64 mm se tiene una presión máxima de 110 bares superior a los 75 bares solicitados.

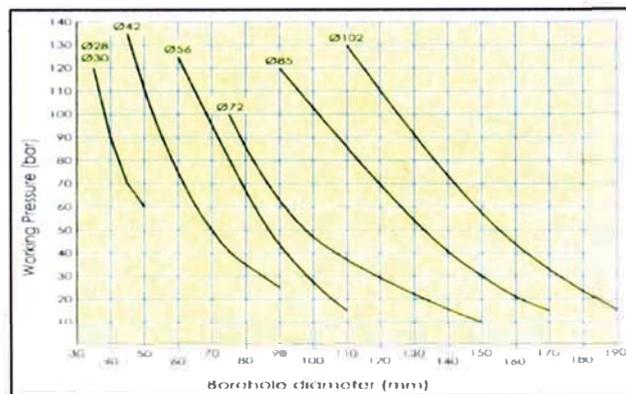


Figura 4.14 Presiones de Trabajo en obturadores inflables modelo Bimbar
Fuente: Hoja Técnica de obturadores Geopro

4.3.3. Inyecciones de Lechada

Para la preparación de las mezclas los equipos utilizados fueron:

- Bomba de inyección con caudal continuo

Capacidad máxima de 100 bares y caudales de hasta 30 l/min. Suficiente potencia para operar efectivamente a baja presión y con no más de 5 % de variación en la presión de inyección.

- Mezclador coloidal de alta velocidad

Capacidad para mezclar completamente el agua, cemento y aditivos de forma homogénea. Garantizando que las bombas no se sequen al inyectar a la velocidad máxima de flujo. Mezclador con capacidad para 100 litros.

- Agitador mecánico

Capacidad para mantener en suspensión todos los materiales sólidos contenidos en la mezcla. Debe disponer de mallas que permitan retener y remover del mezclador cualquier grumo de lechada endurecida o material indeseable (tamiz No. 100). Debe estar calibrado en litros para verificación del volumen inyectado. Capacidad para almacenar 200 litros de mezcla.



Figura 4.15 Equipo de Inyección: Mezclador, Agitador y Bomba

Fuente: Propia

Parte del control luego de la preparación de las tandas de lechada se realizan los ensayos para comprobación de los parámetros especificados según diseño: viscosidad (cono de Marsh), sedimentación, temperatura y muestreo para roturas. Es importante en esta etapa de control detectar los desvíos para tomar las acciones correctivas en cumplimiento de los parámetros de control.

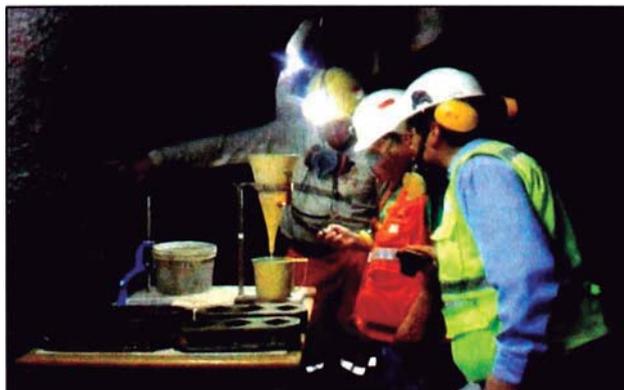


Figura 4.16 Ensayos de control en producción

Fuente: Propia

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. El rol que juega el control de calidad en obras de envergadura es muy importante para el éxito del proyecto, identificando los desvíos que se generan en cada actividad para tomar las acciones correctivas necesarias y evitar reprocesos, asegurando de esta manera cumplir los plazos y costos estimados en el planeamiento.
2. El sistema de gestión de calidad basado en los requisitos de la norma internacional ISO 9001 permite gestionar a todos los niveles, no sólo durante la ejecución de la actividad, sino desde el planeamiento, estimación de recursos, requerimiento de materiales y metodología a emplear.
3. La implementación del control de calidad en el proyecto para las actividades en sus tres etapas: previo, producción y conformidad, permitieron reducir en 80% las No Conformidades detectadas.
4. El tipo de sostenimiento utilizando concreto lanzado fue el más empleado (72% respecto al costo de sostenimiento), debido a su fácil aplicación, mayor cobertura y mejor soporte frente a los esfuerzos del macizo rocoso.
5. Las solicitaciones de esfuerzo en Cavernas requieren de un sostenimiento uniforme en toda la sección bajo la condición más crítica, muy diferente al empleado en túneles donde se aplica el sostenimiento de acuerdo al requerimiento del tramo evaluado.
6. La Central Hidroeléctrica Quitaracsa se caracteriza por su caída directa desde la bocatoma hasta la Casa de Máquinas, de allí el motivo de tener 4917m de túnel revestido con Secciones Típicas I, II, III y IV que representan el 81.5% de todo el túnel hidráulico, además de las inyecciones de cemento necesarias para garantizar el sellado en el macizo rocoso y la estructura de concreto.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Es importante contar con un equipo de trabajo comprometido como parte del aseguramiento y control, dinámico en búsqueda de las oportunidades de mejora de los procesos con el objetivo de generar un producto de buena calidad cumpliendo los requisitos del proyecto.
2. Se recomienda tener un área exclusiva para revisión de la ingeniería del proyecto y realizar las solicitudes de información y aclaración de los vacíos encontrados en el diseño, sobretodo en este tipo de proyectos donde se trabaja en paralelo con el diseñador y montajista.
3. El control de la ejecución de las actividades debe estar acompañado de capacitaciones a la línea de mando y personal obrero con el objetivo de formar una cultura de calidad midiendo los beneficios obtenidos al cumplir los estándares.
4. Para un contrato sólo de obras civiles donde se trabaja en paralelo con el diseñador y montajista se requiere una metodología de coordinación mediante reuniones continuas de interfase además de una metodología de control a la planificación como el Último Planificador.
5. Realizar planos de sectorización del túnel hidráulico manteniendo un registro de los acontecimientos geológicos e hidrogeológicos detectados durante la excavación permite una mejor planificación de los trabajos a realizar en el revestimiento tomando las acciones preventivas para cada zona en particular.
6. El déficit energético del país respecto a las solicitudes de energía eléctrica en las grandes industrias como minería y construcción ha generado en el Estado una política prioritaria para el desarrollo de nuevos proyectos en todo el país. En consecuencia es necesario el estudio en la mejora de la calidad, tiempo y costo para garantizar el éxito de los proyectos y la satisfacción de los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Comité de Hormigón Proyectado, "Manual de Especificaciones para Hormigón y Mortero Proyectado". 1° Edición, Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), Santiago de Chile, 2005.
- ISO 9001:2008, "Sistema de Gestión de la Calidad: Requisitos", Cuarta Edición, Secretaría General de la International Organization for Standardization, Ginebra, 2008.
- Knut F. Garshol, "Pre-Inyecciones de Excavación para Túneles en Roca". 1° Edición, División de BASF The Chemical Company, Suiza, 2012.
- López Jimeno Carlos, "Manual de Túneles y Obras Subterráneas". 1° Edición, Proyectos ETSI Minas, Madrid, 2003.
- Robles Espinoza, N.H. "Excavación y sostenimiento de túneles en roca". CONCYTEC, Lima, 1994.
- Samaniego Figueroa, Omar, "El Objetivo de la Calidad en los Proyectos", Diplomado en Gerencia en la Construcción, Escuela de Postgrado UPC, Lima, 2011.
- Velarde Manrique, Juan Eduardo, "Tesis de Grado: Impermeabilización del macizo rocoso en una presa de relaves empleando inyecciones: aplicación, metodología y aseguramiento de calidad", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2009.

ANEXOS

- ANEXO 01.** Mapa de Ubicación del Proyecto
- ANEXO 02.** Mapa de Geología del Proyecto
- ANEXO 03.** Plano de Disposición – Arreglo General – Planta General
- ANEXO 04.** Plano de Disposición – Arreglo del Proyecto – Perfil Longitudinal
- ANEXO 05.** Casa de Máquinas – Excavación y Sostenimiento
- ANEXO 06.** Casa de Máquinas – Excavación y Sostenimiento – Detalles
- ANEXO 07.** Túnel de Presión – Tipos de Soporte
- ANEXO 08.** Protocolo – Sostenimiento Concreto Lanzado
- ANEXO 09.** Protocolo – Sostenimiento Pernos de Anclaje
- ANEXO 10.** Protocolo – Sostenimiento Malla Electrosoldada
- ANEXO 11.** Protocolo – Sostenimiento Cerchas Metálica
- ANEXO 12.** Protocolo – Colocación de Concreto
- ANEXO 13.** Protocolo – Inyecciones con Lechada de Cemento
- ANEXO 14.** Diagrama de Flujo Inyección de Consolidación
- ANEXO 15.** Resultados de rotura a compresión de concreto

CONSTRUCTORA 	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		Fo 658 ITC 10-01	
	Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaraesa I		Revision:	2
	Contrato Suministro y Construcción de las OOC de la C.H. Quitaraesa I		Fecha:	21-06-12
	ENERSUR S.A.		Página:	1 de 1
SOSTENIMIENTO CONCRETO LANZADO				

INFORMACION GENERAL			
AREA DE TRABAJO:			REG. N°:
FECHA:			TURNO:
TRAMO EVALUADO:			
DESCRIPCIÓN	CHECK	DATO	OBSERVACIONES
1. CONDICIONES DEL ÁREA			
No hay bloques sueltos			
Limpieza y humedad de la roca			
Calibradores			
Iluminación			
Otros (falla, agua, panizo, etc.)			
2. SOSTENIMIENTO INSTRUIDO			
Espesor de shotcrete			
Malla Electrosoldada			
Cerchas Metálicas			
Otro (especificar):			
3. CONDICIONES DEL EQUIPO			
Presión de aire > 8 bares			
Calibración de acelerante			
Tipo de Acelerante			
Velocidad de bombeo			
Otro (especificar):			
4. CONDICIONES DE LA MEZCLA			
Código de diseño			
Volúmen a aplicar			
Slump de llegada			
Homogeneidad			
Temperatura			
Otro (especificar):			
5. ACABADO			
Calibradores cubiertos			
Medición de fragua inicial			
Muestreo de paneles			
Otro (especificar):			
OBSERVACIONES			

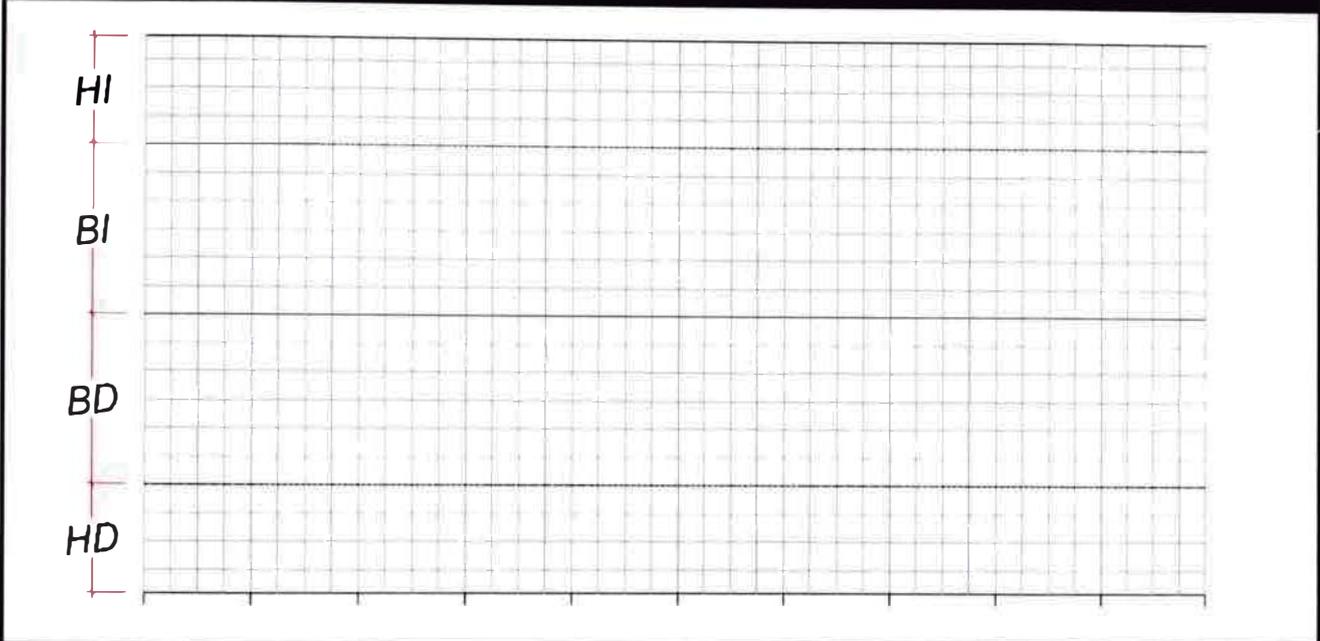
Supervisor JME	
NOMBRE:	
FIRMA:	
FECHA:	

Supervisor TEE	
NOMBRE:	
FIRMA:	
FECHA:	

CONSTRUCTORA JME	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		Fo-658-IT1 10-02	
	Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaraca I		Revisión:	6
	Contrato Suministro y Construcción de las OCCC de la C.H. Quitaraca I		Fecha:	12-01-13
	ENERSUR S.A.		Página:	1 de 1
SOSTENIMIENTO PERNOS DE ANCLAJE				

INFORMACION GENERAL

AREA DE TRABAJO:	REG. N°
FECHA:	TURNO:
TRAMO SOSTENIDO:	

DIAGRAMA DE PERNOS COLOCADOS


DESCRIPCIÓN	CHECK	DATO	OBSERVACIONES
1. PERFORACIÓN DEL TALADRO			
Ubicación y dirección			
Diámetro de la broca			
Longitud de la barra			
Presencia de agua o falla?			
2. MATERIAL DE ANCLAJE			
Tipo de perno			
Diámetro y longitud del perno			
Diseño de lechada			
Marca de resina			
Cantidad de resinas rápidas y lentas			
3. INSTALACIÓN			
Rebose de lechada			
Tiempo de giro y retención			
Planchuela y tuerca			
OBSERVACIONES			

Supervisor JME	
NOMBRE:	
FIRMA:	
FECHA:	

Supervisor ENS	
NOMBRE:	
FIRMA:	
FECHA:	

**SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD**

Fo.658 ITC 10-03

Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaraca I
Contrato Suministro y Construcción de las OCCC de la C.H. Quitaraca I
ENERSUR S.A.

Revision: 1

Fecha: 10/03/12

Pagina: 1 de 1

SOSTENIMIENTO MALLA ELECTROSOLDADA**INFORMACION GENERAL**

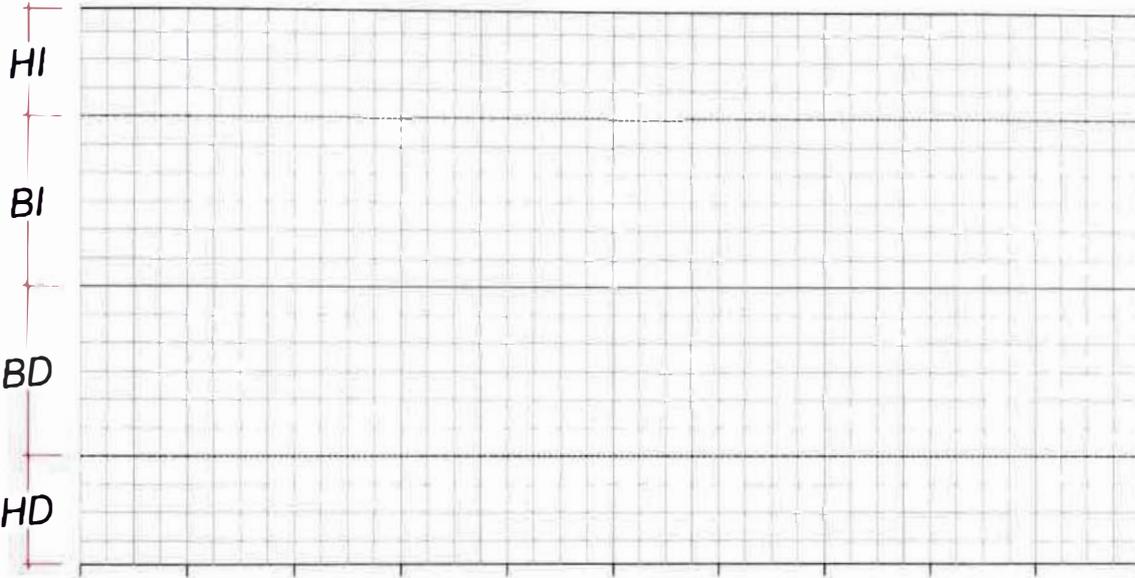
AREA DE TRABAJO:

REG. N°

FECHA:

TURNO:

TRAMO SOSTENIDO:

DIAGRAMA DE MALLA COLOCADA**DESCRIPCIÓN CHECK DATO OBSERVACIONES****1. CONDICIONES DEL ÁREA**

Zona a sostener

Limpieza de estructura

Marcado Topográfico

Cantidad de insertos

Otros (falla, agua, panizo, etc.)

2. MATERIAL A COLOCAR

Limpieza de la malla

Tipo de malla

Otro (especificar):

3. INSTALACIÓN

Malla pegada a la estructura

Traslape según EE.TT.

Correcta fijación

Otro (especificar):

OBSERVACIONES

Supervisor JME

NOMBRE:

FIRMA:

FECHA:

Supervisor ENS

NOMBRE:

FIRMA:

FECHA:

**SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD**

Fo 658-ITC-10-04

Proyecto Central Hidroeléctrica Quitaraesa I
Contrato Suministro y Construcción de las ODC de la C.H. Quitaraesa I
ENERSUR S.A.

Revisión: 2

Fecha: 15-09-12

Página: 1 de 1

SOSTENIMIENTO CERCHAS METÁLICAS**INFORMACION GENERAL**

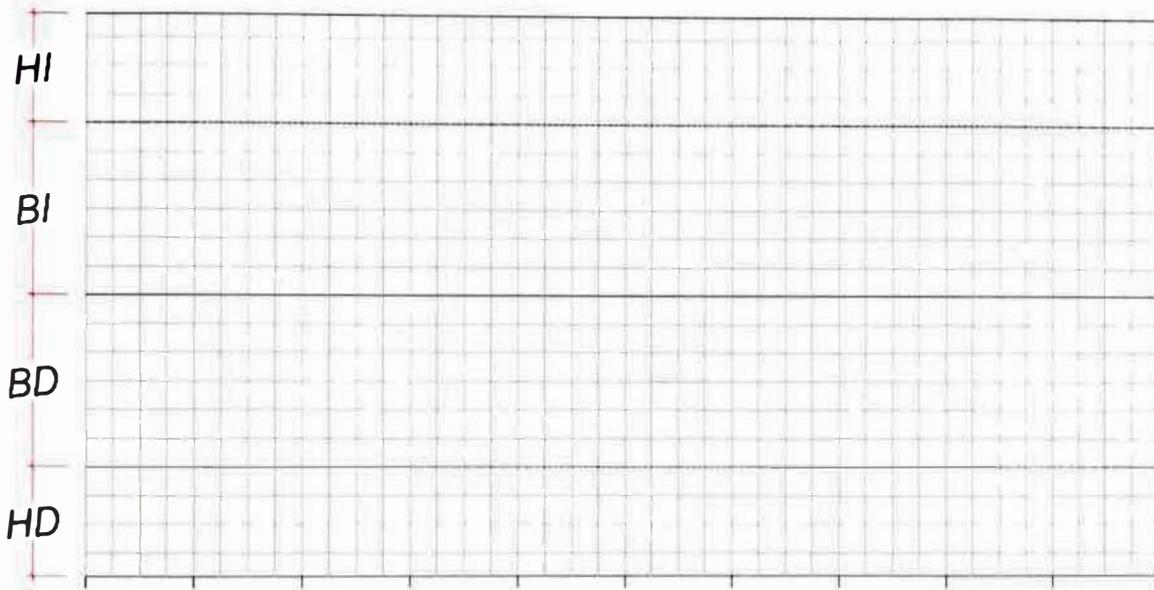
AREA DE TRABAJO:

REG. N°

FECHA:

TURNO:

TRAMO SOSTENIDO:

DIAGRAMA DE CERCHAS COLOCADAS**DESCRIPCIÓN CHECK DATO OBSERVACIONES****1. CONDICIONES DEL ÁREA**

Zona a sostener

Limpieza de estructura

Marcado Topográfico

Otros (falla, agua, panizo, etc.)

2. MATERIAL A COLOCAR

Limpieza de la cercha

Tipo de cercha

Otro (especificar):

3. INSTALACIÓN

Nivelación

Alineamiento

Correcta fijación

Otro (especificar):

OBSERVACIONES

Supervisor JME

NOMBRE:

FIRMA:

FECHA:

Supervisor ENS

NOMBRE:

FIRMA:

FECHA:



I.- ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO		PROGRESIVA	PLANO(S)
AREA DE TRABAJO		ELEVACION	FECHA
TIPO DE ESTRUCTURA			REGISTRO
UBICACION			

II.- ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO		ADITIVOS	METODO DE CURADO	QUIMICO	AGUA
fc DE DISEÑO		CONTENIDO DE AIRE (%)	ACABADO DE SUPERFICIE		
SLUMP (pulg)					

III.- LISTA DE CHEQUEO PREVIO AL VACIADO									
1.- NIVEL DE FUNDACION	CONTRATISTA JME		SUPERVISION ENERSUR		2.- ACERO DE REFUERZO	CONTRATISTA JME		SUPERVISION ENERSUR	
	CHECK	FECHA	CHECK	FECHA		CHECK	FECHA	CHECK	FECHA
Limpieza		/ /		/ /	Diametro		/ /		/ /
Humedad		/ /		/ /	Traslapes		/ /		/ /
Compactacion		/ /		/ /	Espaciamiento		/ /		/ /
Cota (*)		/ /		/ /	Recubrimiento		/ /		/ /
		/ /		/ /	Limpieza		/ /		/ /

2.- ENCOFRADO				4.- EMBEBIDOS EN CONCRETO			
Topografia (*)		/ /	/ /	Insertos Metálicos		/ /	/ /
Orientacion (*)		/ /	/ /	Cable de cobre desnudo		/ /	/ /
Ubicacion Coord (*)		/ /	/ /	Tuberias PVC Drenaje		/ /	/ /
Elevacion (*)		/ /	/ /	Water - Stop		/ /	/ /
Ochavos (*)		/ /	/ /	Tira Elastomerica		/ /	/ /
Alineamiento nivel		/ /	/ /			/ /	/ /
Plomo (*)		/ /	/ /			/ /	/ /
Arriostre		/ /	/ /			/ /	/ /

5.- OTROS							
Juntas		/ /	/ /	Juego de probetas		/ /	/ /
Rugosidad de la superf.		/ /	/ /	Equipo para vaciado		/ /	/ /
Puente adherencia		/ /	/ /	Vibradores		/ /	/ /
		/ /	/ /			/ /	/ /

IV.- COLOCACION DE CONCRETO							
TIPO DE MEZCLA	HORA INICIO	HORA FIN	VOL (m3)	SLUMP	TEMP AMBIENTE	TEMP CONCRETO	CONT. AIRE %
1							

VALES DE CONCRETO:

CAPATAZ JME		TOPOGRAFIA JME (*)		TOPOGRAFIA SUPERVISION (*)	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
	dd/mm/aa		dd/mm/aa		dd/mm/aa

SUPERVISOR JME		CALIDAD JME		SUPERVISOR ENERSUR	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
	dd/mm/aa		dd/mm/aa		dd/mm/aa

V.- LISTA DE CHEQUEO POSTERIOR AL VACIADO							
Inspeccion topog. de estructura vaciada		/ /	/ /	Curado adecuado		/ /	/ /
inspeccion topog. Elementos embebidos		/ /	/ /	Acabado segun especific		/ /	/ /

OBSERVACIONES

SUPERVISOR JME		CALIDAD JME		SUPERVISOR ENERSUR	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA
	dd/mm/aa		dd/mm/aa		dd/mm/aa

