

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



**“GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LAS OBRAS DEL
TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CERRO DEL ÁGUILA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ALFREDO CRISTÓBAL QUISPE MASCCO

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones que me ha dado en mi vida.
A mis padres Francisco Quispe Palomino y Aquilina Mascco Pusari por ser ambos un gran ejemplo de amor, esfuerzo y alegría en mi vida.
A mis hermanos por su apoyo y comprensión brindada en todo momento.
A todos los que me brindaron su aliento en la realización de este informe.

INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	9
1.2 UBICACIÓN.....	9
1.3 ACCESIBILIDAD.....	11
1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO.....	13
1.4.1 Antecedentes y aspectos generales del proyecto.....	13
1.4.2 Presa de gravedad.....	14
1.4.3 Obra de Toma.....	16
1.4.4 Túnel de conducción.....	18
1.4.5 Ventanas de Acceso.....	21
1.4.6 Chimenea equilibrio superior.....	21
1.4.7 Conducto forzado.....	21
1.4.8 Casa de máquinas.....	24
1.4.9 Subestación de transformación.....	25
1.4.10 Túnel de acceso.....	26
1.4.11 Túnel de descarga.....	26
CAPÍTULO II: GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN	30
2.1 GESTION DE LA PRODUCCION.....	30
2.2 PROCESOS PRINCIPALES DEL EJE BÁSICO DE GESTIÓN.....	32
2.2.1 Planeamiento.....	32
2.2.2 Ejecución.....	33
2.2.3 Control.....	34

2.3	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.....	34
2.4	RECURSOS PARA LA EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO.....	36
2.5	INDICADORES DE LA GESTION DE LA PRODUCCIÓN.	44
2.5.1	Mediciones de Nivel General de Actividad.....	44
2.5.2	Cartas de Balance	45
CAPÍTULO III: HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL.....		48
3.1	JUSTIFICACIÓN DEL USO DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.	48
3.2	CONTROLES DE MANO DE OBRA, EQUIPOS, MATERIALES.....	53
3.3	CONTROL DE AVANCE DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.	54
3.4	REPORTE DIARIO DE OBRA	63
3.5	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS.	64
3.6	OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	73
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
4.1	CONCLUSIONES.....	78
4.2	RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....		82
ANEXOS		83

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia se basa sobre los trabajos del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, que en la actualidad se viene ejecutando en dos frentes: Frente de Presa y Frente Casa de Máquinas. El túnel de conducción es una de las estructuras principales la cual, según el cronograma de obra, se encuentra de la ruta crítica del proyecto.

El objetivo del Informe de Suficiencia es la aplicación del sistema de gestión de la producción que permite mejorar los rendimientos de avance el túnel, que a la vez reduce los impactos por problemas de plazos en la ejecución.

El sistema de gestión de la producción mencionado, es un sistema que sigue los principios del lean construction. Estos principios están ligados a:

- Establecer construcción sin pérdidas.
- Mapear procesos constructivos.
- Mejorar los flujos de trabajos presentes.

El capítulo I realiza una descripción general de las estructuras principales de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, dentro de las cuales se encuentra el túnel de conducción.

El capítulo II contiene el marco conceptual del sistema de gestión de la producción. Este sistema se basa en diseñar, dirigir y controlar las operaciones productivas aplicando los principios del lean construction. Además, se describe el proceso constructivo del túnel de conducción a través del mapeo de procesos constructivos.

En el capítulo III expone la aplicación de las herramientas de control y planificación que se desprenden del sistema de gestión de producción. Estas herramientas, permiten crear un control eficaz de nuestros procesos constructivos, obteniendo con ello la mejora de la productividad.

Y finalmente el capítulo IV expone las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido en la aplicación de la gestión de la producción; siendo la conclusión principal, la validación de la aplicación de este sistema de gestión de producción basado en principios del lean construction.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.- Comparativa de presupuestos 2012 y 2013 – Roca B.....	35
Cuadro N° 2.- Comparativa de presupuestos 2012 y 2013 – Roca C.....	36
Cuadro N° 3.- Condiciones contractuales por tipo de roca desde Frente ODP ..	48
Cuadro N° 4.- Condiciones contractuales por tipo de roca desde Frente CDM ..	49
Cuadro N° 5.- Condiciones por tipo de roca desde el Frente ODP a Set. 2013..	50
Cuadro N° 6.- Condiciones por tipo de roca desde el Frente CDM a Set. 2013 .	50
Cuadro N° 7.- Rendimientos, materiales y equipos por tipo de roca	54
Cuadro N° 9.- Duración de los ciclos de producción.	74
Cuadro N° 10.- Ciclo recomendado.	74
Cuadro N° 11.- Efecto de ahorro en los ciclos de producción.	75
Cuadro N° 12: Resultados en costo del cambio a acople mecánico.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.- Ubicación general.....	10
Figura N° 2.- Ubicación de los frentes de trabajo.....	12
Figura N° 3.- Vista satelital a la C.H Cerro del Águila sobre el río Mantaro.....	14
Figura N° 4.- Sección Típica de la Presa.....	15
Figura N° 5.- Construcción de la Presa.....	16
Figura N° 6.- Sección típica de la obra de toma.....	17
Figura N° 7.- Construcción de la obra de toma.....	18
Figura N° 8.- Sección típica del túnel de conducción.....	19
Figura N° 9.- Construcción del túnel de conducción.....	20
Figura N° 10.- Perforación del frontón del túnel de conducción.....	20
Figura N° 11.- Sección vertical del conducto forzado.....	23
Figura N° 12.- Ejecución del conducto forzado.....	24
Figura N° 13.- Ejecución de los trabajos en la subestación.....	26
Figura N° 14.- Principales estructuras de la C.H Cerro del Águila.....	28
Figura N° 15.- Perfil General.....	29
Figura N° 16.- Ciclo de producción del túnel de conducción.....	37
Figura N° 17.- Ciclo de excavación del túnel de conducción.....	38
Figura N° 18.- Ciclo de producción de sostenimiento del túnel de conducción..	42
Figura N° 19.- Clasificación de los tipos de trabajo en obra.....	47
Figura N° 20: Metodología de desarrollo de la Gestión de la Producción.....	52
Figura N° 21.- Esquema general de avance de túnel de conducción.....	55
Figura N° 22.- Avance por frente de trabajo del túnel de conducción.....	57
Figura N° 23.- Reporte de avance del túnel de conducción.....	58
Figura N° 24: Evolución del ciclo del túnel de conducción semanalmente.....	60
Figura N° 25: Tiempos en el proceso de perforación.....	61
Figura N° 26: Tiempos en el proceso de carguío.....	61
Figura N° 27: Tiempos en el proceso de inyección de pernos.....	62
Figura N° 28: Análisis de las esperas incurridas en el ciclo de producción.....	62
Figura N° 29: Análisis de las esperas incurridas en el ciclo de producción.....	63
Figura N° 30.- Reporte diario de obra.....	64
Figura N° 31.- Resultados de mejora en la perforación de frente.....	65
Figura N° 32.- Resultados de mejora en el carguío de frente.....	66
Figura N° 33.- Resultados de mejora en la eliminación de material.....	67
Figura N° 34.- Resultados de mejora en la convergencia.....	68
Figura N° 35.- Resultados de mejora en la aplicación de shotcrete preventivo..	69

Figura N° 36.- Resultados de mejora en la instalación de cimbras.....	70
Figura N° 37.- Resultados de mejora en la colocación de mallas.....	71
Figura N° 38.- Resultados de mejora en la aplicación de shotcrete.	72
Figura N° 39.- Resultados de mejora en la eliminación de rampa y nivelado.	73
Figura N° 44: Condiciones iniciales de las excavadoras.	75
Figura N° 45: Excavadora DOOSAN con doble función gracias acople rápido. .	76
Figura N° 40: Esquema de la gestión de la producción aplicada.....	78
Figura N° 41: Fases y procesos del túnel de conducción.....	79
Figura N° 42: Procesos y actividades del túnel de conducción.	79
Figura N° 43.- Sistema de la gestión de la producción.....	80

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

TP: trabajo productivo.

TC: trabajo contributorio.

TNC: trabajo no contributorio

RE: roca equivalente.

EPC: ingeniería, procura y construcción.

MW: megawatts.

BUDGET: presupuesto.

ODP: Obra de Presa.

CDM: Casa de Máquinas.

EST: eficiencia del sistema de trabajo.

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia aplica la gestión de la producción que se basa en los principios del lean construction, en la obra del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. Para ello veremos el alcance de estos trabajos en costo, avance y plazo debido a que la ejecución de esta estructura es de vital importancia para el avance del proyecto.

El sistema orientado hacia una visión tradicional de gestión de la producción, no aporta en esta etapa de ejecución de la obra, debido a que da mucho énfasis a los procesos de planeamiento y control, dando por hecho que la ejecución debería ser realizada de acuerdo a lo previsto.

Por ello, establecemos un hito de partida que es la situación actual del proyecto y establecemos cuales son los retos y metas inmediatas a cumplir. Para ello aplicamos herramientas de planificación y control mediante las cuales podemos ir monitoreando el correcto avance de las metas diarias, mensuales y del proyecto.

Estas herramientas de control deberán alimentarse de una data adecuada, para ello es importante la aplicación de la gestión de la producción en la ejecución de la obra. Porque el sistema de la gestión de la producción basado en los principios del lean construction, brinda conocimientos sobre los fases de ejecución (excavación y sostenimiento), reconociendo que a través de la producción se materializa el proyecto. Basado en esta premisa se generan la programación y el control del proyecto.

Y como objetivo final, el presente Informe de Suficiencia busca ser un documento de referencia para las personas involucradas a la construcción sobre la aplicación del lean construction a través de la gestión de la producción en los trabajos de construcción de túneles.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

- Nombre del proyecto: Central Hidroeléctrica Cerro del Águila
- Localización: Provincias de Surcubamba y Colcabamba, Departamento de Huancavelica – Perú.
- Capacidad: 504 MW.
- Cliente: Cerro del Águila S.A.
- Tipo de contrato: Llave en mano, EPC.
- Periodo del proyecto: 51 meses.
- Fecha de comienzo: 04 noviembre del 2011.
- Fecha de culminación: 04 febrero del 2016.

1.2 UBICACIÓN.

El Proyecto Central Hidroeléctrica Cerro del Águila se encuentra ubicado en los distritos de Colcabamba y Surcubamba, provincia de Tayacaja, región de Huancavelica.

1.3 ACCESIBILIDAD.

El acceso al área del Proyecto se realiza siguiendo la ruta Lima-Huancayo Pampas, con 332 km. de carretera asfaltada y 60.6 km. de carretera afirmada. A partir de la localidad de Pampas se pueden aprovechar diferentes carreteras y caminos existentes para llegar a los lugares donde se construirán las obras.

Desde la ciudad de Pampas, siguiendo una vía afirmada de 20 km. paralela al curso del río Upamayo, se accede a la localidad de Estanque, lugar donde se iniciará la construcción de las vías de acceso a las obras de captación y generación.

Siguiendo la ruta Pampas - Colcabamba - Campo Armiño, sobre 70.4 km. de carretera afirmada, continuando por la trocha carrozable Campo Armiño - Durasnuyoc de 27 km. Y finalmente a través del camino de herradura de 9 km. Durasnuyoc - Fundición - Barropata, se puede acceder a las obras de captación.

Partiendo de Pampas y dirigiéndose a Salcabamba, sobre una vía afirmada en los 5 km. iniciales y sin afirmar en los 45 km. siguientes, se llega a la Hacienda Tacana, de donde se recorren aproximadamente 8 km. de camino de herradura para llegar a las obras de generación.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO.

1.4.1 Antecedentes y aspectos generales del proyecto.

La Central Hidroeléctrica Cerro del Águila representa la tercera obra de energía hidroeléctrica ubicada sobre el río Mantaro. Está ubicado aguas debajo de las centrales Santiago Antunez de Mayolo y Restitución.

La central Santiago Antunez de Mayolo se encuentra en la primera curva grande y plana del río Mantaro. Originalmente estaba previsto desarrollar otro proyecto en la segunda curva, prácticamente hasta su confluencia con el río Apurímac. Ese proyecto habría incluido un túnel de baja presión y una presa de 250 m situadas aguas abajo cerca a la confluencia con el río Colcabamba.

Teniendo en cuenta el gran deslizamiento de tierra en la zona de Mayunmarca que se produjo en 1974 y la aparente vulnerabilidad de la estabilidad de ese lado del valle, la idea de implementar una muy alta presa era abandonada y parcialmente sustituido por las siguientes:

- El Proyecto de Restitución que se desarrolló entre los 250 m que hay entre el canal de descarga de la CH Santiago Antúnez de Mayolo y el río Mantaro, y.
- El Proyecto Guitarra, desarrollando a corta distancia aguas abajo de la curva denominada Guitarra. Después de casi 25 años de ser evaluada, este Proyecto Guitarra (1983) se ha redefinido y renombrado como Cerro del Águila.

Las obra cuenta con una obra de presa a gravedad en forma de arco de altura de 78.70m y con una longitud de cresta de 270ml. Además de un túnel de conducción encargado de llevar las aguas captadas desde la obra toma hacia el conducto forzado que aprovecha una caída de 238.5m para la generación de energía en la casa de máquinas a través de 3 turbinas Francis de 171MW cada una. Finalmente las aguas son retornadas al río Mantaro de un túnel de descarga que en su parte final cuenta con un vaso disipador.

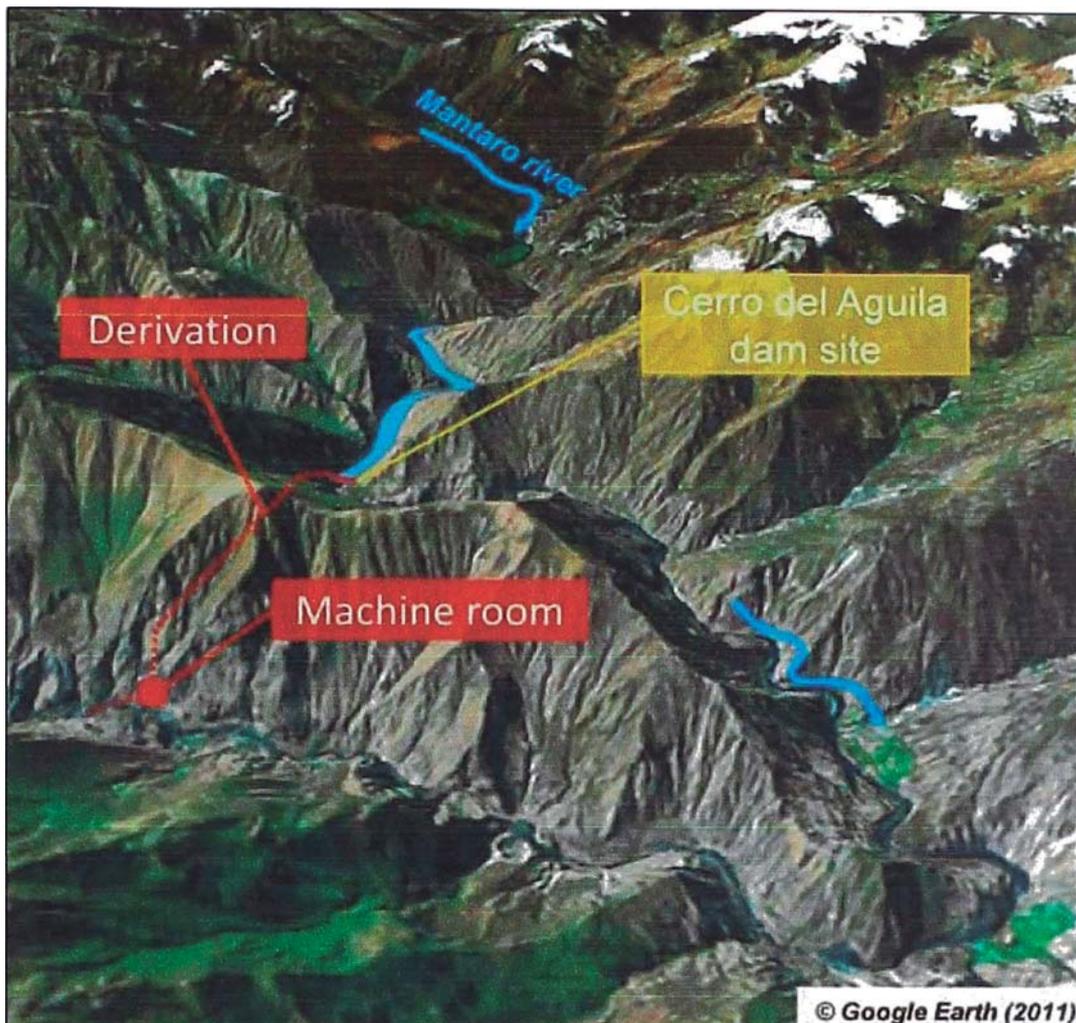


Figura N° 3.- Vista satelital a la C.H Cerro del Águila sobre el río Mantaro.

1.4.2 Presa de gravedad.

Una sección típica de la presa es la ilustrada en la Figura N°3. La presa en ejecución es una presa de gravedad convencional de concreto con 18 bloques independientes cada uno con 16m de longitud. Los 264m de longitud de la presa tiene un eje ligeramente curvo planimétrico; con una elevación de cresta de 1560.10msnm y el punto más bajo se ubica a 1481.40msnm. La altura máxima de la presa es de 78.70ml medida desde la fundación.

El nivel del agua normal de operaciones está a 1556.00msnm, permitiendo un volumen de almacenaje total de alrededor de 37 mio m³. El nivel máximo de embalse correspondiente a la crecida máxima probable está a 1560.00msnm.

El corte típico transversal de la presa es diseñado con caras inclinadas para asegurar la estabilidad necesaria durante un acontecimiento sísmico. La cara ubicada aguas arriba tiene una inclinación de 1:0.1 (V:H), y la cara aguas abajo corresponde a una inclinación de 1: 0.75 (V:H). La anchura máxima en la fundación es de 62m. La anchura típica de los bloques de corona es 6.2m. La cresta de la presa tiene un ancho de 6.5m y cuenta con un parapeto de concreto en la cara aguas arriba y una barandilla metálica en la cara aguas abajo. El volumen total de concreto de la presa aproximadamente es de 425,000 m³.

La liberación de las avenidas extraordinarias está garantizada por un aliviadero de superficie cerrada equipada con 4 compuertas radiales, 2 compuertas de aleta y 6 descargas de fondo equipadas con compuertas de división. Cuenta con una capacidad total de 7,000m³/s para el aliviadero de superficie cerrada y 5,000 m³/s para las descargas de fondo.

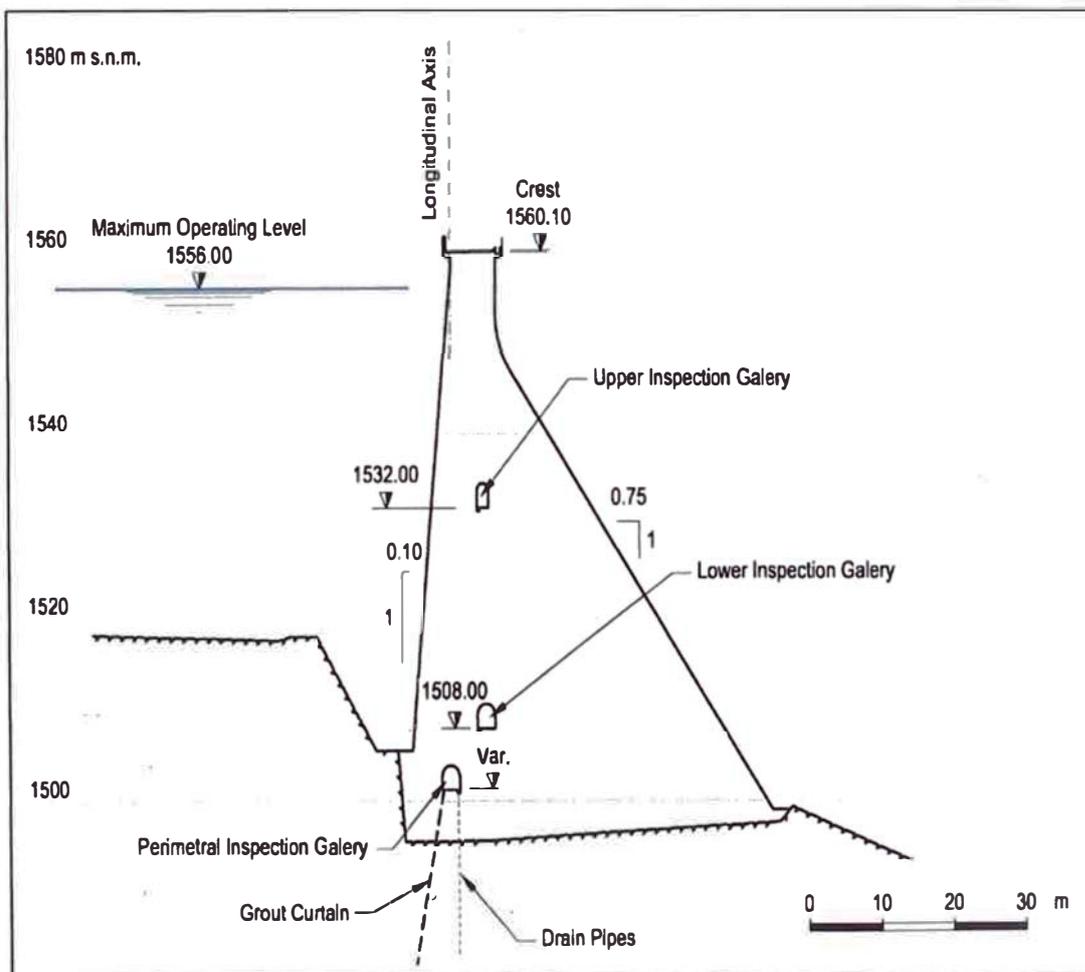


Figura N° 4.- Sección Típica de la Presa.



Figura N° 5.- Construcción de la Presa.

1.4.3 Obra de Toma.

La obra de toma se encuentra ubicada en el estribo derecho de la presa a 75 m aguas arriba del eje de la presa. Está diseñado para funcionar con una descarga nominal de 210.50 m³/s.

La obra de toma es una estructura de torre construida después de la excavación sobre el macizo rocoso. El diseño de la obra de toma se ha optimizado en función de la topografía existente. El nivel de fundación de la obra de toma quedará siempre por encima del nivel de sedimentos debido a la sedimentación del embalse.

La obra de toma se compone de 4 ramas de admisión protegidas por el sistema de rejas dobles móviles. La cara de la obra de toma se inclina 1:5 (H:V). El sistema de dobles rejas permiten efectuar la correcta limpieza de los desperdicios transportados por el río Mantaro que se acumularan al ingreso.

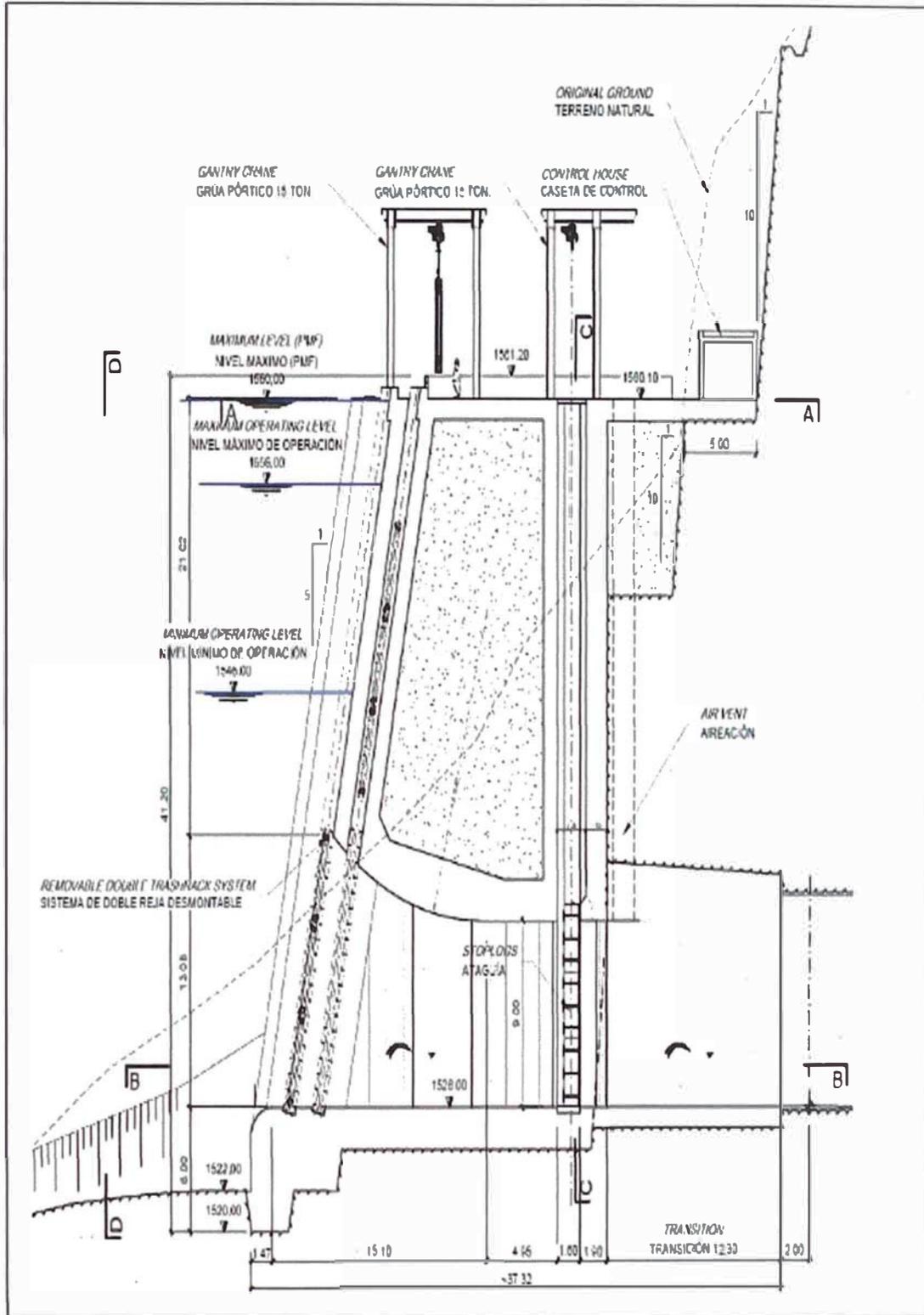


Figura N° 6.- Sección típica de la obra de toma.



Figura N° 7.- Construcción de la obra de toma.

1.4.4 Túnel de conducción

El túnel de conducción transmite 210.50 m³/s de descarga de agua, que son captados desde la obra de toma. Son casi 5.7 kilómetros de largo y con una pendiente de 0.34% es excavado por el método convencional (perforación y voladura). La sección transversal típica del túnel de conducción es de una forma de herradura con un invertido horizontal. La sección excavada es de alrededor de 93.6m, y su altura es de 10.5m y 8.7 de ancho.

La excavación del túnel de conducción se realizara simultáneamente desde dos túneles de acceso. El primero se encuentra situado en la primera curva del río Mantaro después de la Presa. El otro túnel de acceso está cerca al pozo de presión que se encuentra aguas abajo. La excavación, luego de concluir con estos túneles de acceso se realizará en direcciones ascendentes y descendentes.

Por las favorables condiciones de la roca, el túnel sólo requerirá revestimiento de concreto en la solera, un sostenimiento esporádico donde sea necesario

dependiendo del tipo de roca que se encuentre. Con fines hidráulicos, se incluye un revestimiento final a lo largo de todo el túnel con shotcrete de 5 cm. de espesor.

Dado que el túnel será revestido con shotcrete, contará en el extremo final con una trampa de rocas destinada a retener las partículas de roca o pedazos de shotcrete que se desprendan de la superficie del túnel en los primeros años de su operación. Se trata de una excavación del fondo del túnel, de 1.7 m. de profundidad y unos 60 m. de largo, provisto de elementos que permitan caminar por encima de ella, para cuando se tenga que hacer una limpieza del material retenido o de su eventual retiro.

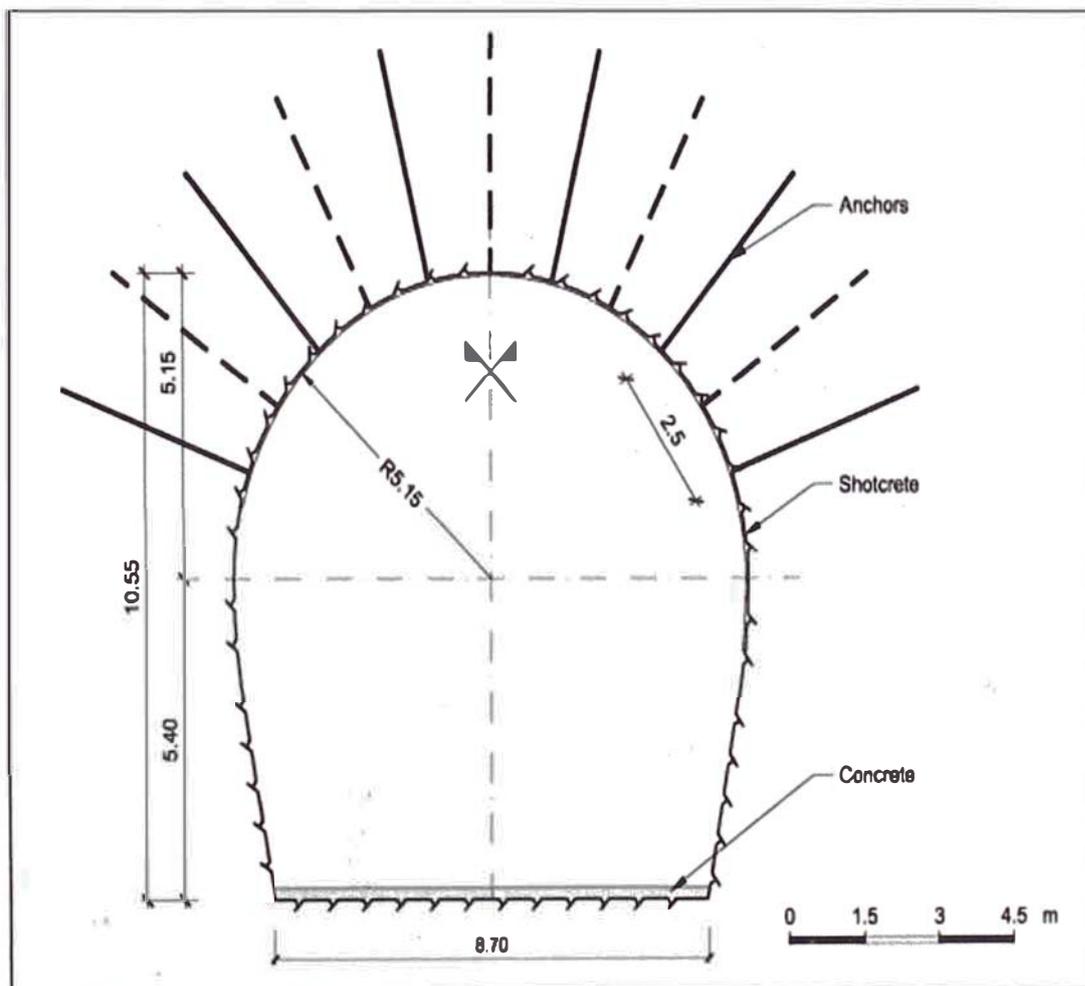


Figura N° 8.- Sección típica del túnel de conducción



Figura N° 9.- Construcción del túnel de conducción



Figura N° 10.- Perforación del frontón del túnel de conducción.

1.4.5 Ventanas de Acceso.

Son túneles que no soportan carga hidráulica debido a que su función es acceder al eje del túnel de conducción desde los frentes Presa y Casa de Máquinas.

Estos túneles de acceso tienen la denominación de Ventana de acceso 1 y Ventana de acceso 2. Cuando la central hidroeléctrica entre en funcionamiento, ambas ventanas serán selladas a través de un tapón de cimentación.

1.4.6 Chimenea equilibrio superior.

La chimenea de equilibrio se ha previsto próxima al conducto forzado. Se trata de un pique vertical de 180 m. de longitud, de sección circular, de 15 m. de diámetro útil y revestido de concreto en toda su longitud. El material excavado se eliminará por la ventana de salida del túnel de conducción.

Para su construcción se prevé una ventana superior en la cota 1,650 msnm, de 215 m. de longitud, a la que se accederá a través de un ramal a construir desde el camino de acceso a la casa de máquinas.

La eliminación del material excavado se hará desde el túnel de conducción. No se descarta poder aprovechar como chimenea la ventana de acceso al tramo final del túnel, solución que reduce las inversiones y normalmente reduce las vías de acceso requeridas para la construcción de las obras.

Según los resultados obtenidos, una chimenea de sección constante y 15 m. de diámetro, es suficiente para absolver las oscilaciones que ocasionen los fenómenos transitorios, siempre que tenga cotas inferiores a 1,470 msnm y cotas superiores mayores a 1,600 msnm, por lo que no se requiere de cámaras de expansión ni de alimentación.

1.4.7 Conducto forzado.

El conducto forzado está conformado por dos tramos, el primero vertical, de 219.35 m. de longitud, sección circular y revestido de concreto de 30 cm. de espesor. Se asume que no se requerirá revestimiento de acero por las favorables condiciones de la roca y principalmente por la reducida presión a la que se le someterá.

El tramo vertical se construiría desde una cámara superior, mediante un Raise Boering, para posteriormente ser ampliada hasta el diámetro de diseño. El material excavado se eliminará por la misma galería del conducto forzado horizontal. Se seleccionó un pique vertical por la facilidad del método constructivo. Desde el punto de vista económico, el diámetro más conveniente es 7.1 m., que coincide con el límite superior de velocidad para conductos revestidos de concreto, pues llega a 5.05 m/s.

El tramo horizontal blindado con acero, de 80 m. de longitud, se excavará desde la caverna de la casa de máquinas. En este tramo la tubería distribuye a tres ramales que abastecen a cada turbina.

En este caso, la excavación es en sección tipo baúl, con 7.2 m. de ancho y 7.2 m. de alto y que por tratarse de un conducto corto donde se tienen ductos de entrega a cada turbina, se opta por diseñarlos con una velocidad de 7 m/s, lo que implica para el tramo inicial un diámetro de 6.03 m. y para los ductos a cada turbina de 3.5 m.

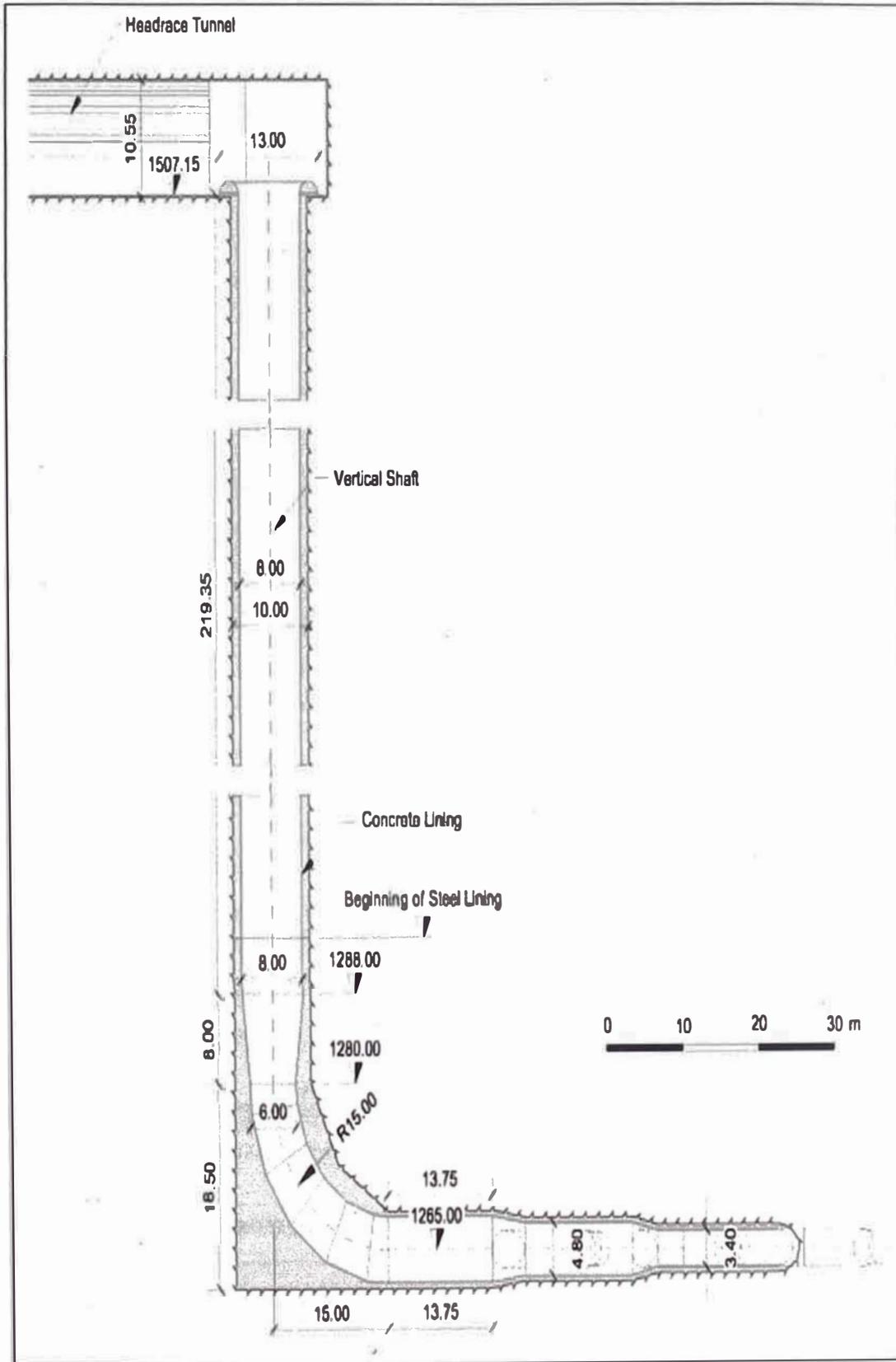


Figura N° 11.- Sección vertical del conducto forzado.



Figura N° 12.- Ejecución del conducto forzado.

1.4.8 Casa de máquinas.

La casa de máquinas se ubicará en caverna en roca competente. En ella se instalarán tres turbinas Francis de eje vertical con capacidad para $67 \text{ m}^3/\text{s}$ y que producirían 134 MW cada una. En una caverna paralela se instalarían los transformadores, pues por la distancia al patio de llaves no conviene colocar los transformadores en él.

Sus dimensiones aproximadas son de 88 m. de largo, 20 m. de ancho y 31 m. de alto y contaría con los siguientes niveles:

El nivel de turbina donde se ubicarán las turbinas (cota 1,287 msnm).

El nivel donde se ubicarán los generadores (cota 1,296 msnm).

El nivel de la sala de montaje, sala de baterías, almacén y servicios higiénicos (cota 1,301 msnm).

El nivel donde se encuentra la sala de control, celdas y la oficina (cota 1,296 msnm).

El nivel donde se encuentra el puente de grúa (cota 1,310 msnm).

En la caverna se contará con sistemas de refrigeración, ventilación, iluminación, contra incendio, etc.

Las turbinas se instalarán con su eje en la cota 1,287 msnm, descargando las aguas al túnel de descarga, donde el agua se encontrará en la cota 1,295.5 msnm.

1.4.9 Subestación de transformación.

La subestación transformadora se encontrará en una caverna adyacente a la casa de máquinas, en la cota 1,301 msnm a la que se llegará por tres galerías de cables y una galería de acceso. En ella se prevé albergar tanto a los transformadores como a los equipos de maniobra de la subestación 220 kV, del tipo SF6.

Se ha considerado que la subestación tendrá tres transformadores trifásicos de 160 MVA c/u. Sin embargo, debido a las dificultades de transporte y montaje que se puedan presentar por las dimensiones y pesos significativos de estos equipos, se podría evaluar la conveniencia de utilizar bancos de transformadores monofásicos.

Se estima que las dimensiones de la caverna sean de 12 m. de ancho, 10 m. de alto y 18 m. de largo para el área de transformadores y de 8 m. de ancho, 6 m. de alto y 12 m. de largo para el área de los equipos GIS.



Figura N° 13.- Ejecución de los trabajos en la subestación.

1.4.10 Túnel de acceso.

El túnel de acceso a la central se excavará desde un portal rocoso ubicado unos 33 m. por encima del nivel de agua en época de estiaje, para estar alejado de niveles de agua máximos extraordinarios que se puedan presentar en el río Mantaro.

Será un túnel de 829 m. de longitud y sección de 6 m. de ancho por 7.3 m. de alto, para permitir el paso de los cables que evacuan la energía hacia el patio de llaves. Al igual que los otros túneles, sólo se prevé el revestimiento de la solera.

1.4.11 Túnel de descarga.

El túnel de descarga tendrá una longitud de 947 m. y una sección 9.8 m. de ancho y 9.8 m. de alto, revestido de concreto sólo en la solera y revestido con shotcrete en las paredes.

Trabjará a pelo libre con un tirante de agua de 7.62 m. Su pendiente será de 0,13%, con una velocidad de flujo máxima de 3 m/s.

En la entrega al río la cota será 1,286.5 msnm, 4.5 m. por encima del nivel de agua de estiaje para estar alejado de las oscilaciones que presentaría el río a lo largo del año.

Se ha estimado que con la cota de descarga seleccionada, la central no vería disminuida su caída bruta hasta para cuando el río traiga 3,000 m³/s, cuando los niveles de energía en el túnel de descarga y el río serían similares. Para mayores caudales en el río la central puede seguir operando, pero con una caída bruta menor.

La cota de descarga del túnel se encuentra suficientemente alejada del cauce, para evitar que ingrese material sólido al túnel de descarga en época de avenida.

CAPÍTULO II: GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

2.1 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Consiste en diseñar, dirigir y controlar una operación productiva. Como es natural, para gestionar la producción primero es necesario entender cómo funcionan los sistemas productivos.

La Gestión de la Producción está orientada a lograr la eficiencia en la producción. Entendiendo eficiencia como la relación entre lo producido y los recursos empleados, entonces el objetivo será producir cada vez más usando cada vez menos recursos.

Partiendo de las premisas del flow management podemos establecer los tres requisitos, listados en orden de prioridad, para lograr sistemas productivos eficientes:

- Lograr que los flujos no paren.
- Lograr que los flujos sean eficientes.
- Lograr que los procesos sean eficientes.

Lo primero es entender la principal causa de las interrupciones en los flujos, la variabilidad. Es la ocurrencia imprevisible de eventos que evitan que nuestro plan se cumpla. Puede ser interna a nuestro sistema (por ejemplo, operatividad de una máquina) o externa (por ejemplo, el clima). Es inherente a la construcción. No controlarla hace que su efecto se multiplique.

Algunas características de la construcción la incrementan:

- Interdependencia: Las actividades de construcción suelen tener muchas predecesoras, lo que incrementa la posibilidad de que falle alguna.
- Relación con soporte: Las actividades de construcción dependen casi siempre de actividades de soporte (por ejemplo, la logística o la generación de permisos o las inspecciones de calidad), lo que aumenta las necesidades de tener niveles de coordinación difíciles de alcanzar sin un método formal.

A continuación, se detalla como usamos la Gestión de la Producción para lograr los tres requisitos de la eficiencia planteados por el flow management.

Primero: Lograr que los flujos no paren.

Para ello hay que manejar la variabilidad, lo que a su vez se logra por medio de dos acciones:

1.- Identificarla desde el planeamiento: Con el fin de definir estrategias para su mitigación. Dichas estrategias deben incorporarse en nuestro diseño de operación, y principalmente son:

- Uso de buffers (colchones).
- Uso de procedimientos constructivos de menor incertidumbre (por ejemplo, uso de tecnología 3D y 4D).
- Romper dependencias.

2.- Ejecutar usando Last Planner: Si bien incluir las estrategias mencionadas en el plan mitigan los efectos de la variabilidad, en el día a día siempre ocurrirán cosas que ningún plan puede contemplar. Asimismo, la interdependencia y la necesidad de interactuar con las áreas de soporte obligan a tener un mecanismo de liberación de restricciones (“make ready”) y de coordinación excelente para evitar paralizaciones e interrupciones. La idea es lograr una alta confiabilidad en la ejecución de las tareas programadas.

Segundo: Lograr que los flujos sean eficientes.

Para ello debe diseñarse la operación aplicando Principios de Física de Producción, que es la ciencia que describe los movimientos de las unidades de producción a través del proceso de construcción de una obra.

Podemos mencionar los siguientes principios:

- Capacidad del sistema y cuello de botella.
- Inventarios y trabajo en procesos.
- Sistemas Pull vs Sistemas Push.
- Tamaño de lote.
- Balanceo de carga y capacidad.

Tercero: Lograr que los procesos sean eficientes.

Para ello hace falta ir al campo a mirar las actividades para identificar y atacar los problemas. Muchas veces la observación simple no ayuda, por lo que hará falta el uso de herramientas de medición del trabajo propias de la ingeniería industrial.

- Nivel general de actividad.
- Carta balance.

Por ejemplo, el uso de estas herramientas debería ser el paso lógico a seguir después de revisar los Informes de Productividad, para indagar sobre el porqué de los resultados obtenidos.

En resumen, la Gestión de la Producción consiste planear diseñando una operación eficiente, que mitigue la variabilidad e incluya principios de física de producción; y en lograr que dicho plan se cumpla mediante el uso de Last Planer.

2.2 PROCESOS PRINCIPALES DEL EJE BÁSICO DE GESTIÓN.

2.2.1 Planeamiento.

El Planeamiento es el análisis del proyecto que permite determinar las estrategias de gestión y ejecución a utilizar. Esto implica identificar claramente el alcance del proyecto, para así poder definir los recursos necesarios, las etapas de ejecución y la duración de las mismas.

En ese sentido, para desarrollar un buen Planeamiento:

Es necesario contar con un equipo de proyecto con talento, conocimiento técnico y experiencias similares.

Debe ser liderado por el Gerente de Proyecto, desarrollado por el equipo de obra, y debe contar con la participación clave de los ingenieros de producción.

Su diseño debe enfocarse en lograr una operación eficiente en campo, basándose en un conocimiento profundo de los procesos constructivos a aplicar.

Es necesario diseñar los aspectos administrativos y estratégicos, como por ejemplo la logística o la relación con el cliente.

Es necesario contar con la información de diseñadores, subcontratistas, proveedores críticos, etc.

Se requiere identificar los factores claves de éxito del proyecto, así como las principales fuentes de variabilidad y los principales riesgos existentes. Además, debe incluir planes de contingencia y acciones mitigadoras.

Como principales entregables de esta fase se deben tener:

- El Cronograma General.
- Los Cronogramas de Recursos.
- El Presupuesto Meta y el Estudio del Contrato.
- La definición de la Estructura de Control a usarse en el Proyecto.

2.2.2 Ejecución.

La Ejecución es la materialización o realización de lo señalado en el Plan de trabajo. Está a cargo directamente de los ingenieros de producción, con el soporte del resto del equipo del proyecto.

Además, esta etapa se logra a través del uso de los recursos dispuestos para ella, los cuales deben dirigirse y emplearse de manera eficiente, ya que todo recurso tiene asociado un costo y un rendimiento. Los proyectos se ejecutan utilizando el proceso de Programación, a través del cual se identifican y realizan las acciones necesarias para lograr el plan de trabajo diseñado durante el Planeamiento. Además, es necesario programar para reducir la variabilidad y alcanzar los niveles de coordinación entre producción y soporte, necesarios para ejecutar la obra sin paralizaciones.

El proceso de Programación se basa en la metodología Last Planner, tomada de Lean Construction.

En resumen, los objetivos de la Programación son:

Proteger el plan asegurando su cumplimiento de acuerdo a lo previsto.

Asegurar un flujo de producción constante y eficiente.

Generar aprendizaje y mejora continua.

2.2.3 Control.

El Control consiste en verificar que la etapa de Ejecución se está desarrollando según lo planeado, y en identificar las causas de las posibles desviaciones, con el fin de tomar acciones correctivas. Esto se realiza mediante la comparación de la realidad con un escenario previsto, que se toma del Planeamiento.

Los resultados del control sirven para actualizar y retroalimentar el Planeamiento, generando proyecciones más confiables. En ese sentido, los resultados del control deben ser oportunos, confiables y sustentables.

Un Proyecto debe implementar, como mínimo, los siguientes Controles:

- Control del plazo y avance: proporciona información sobre el avance del proyecto para la tomar acciones a fin de asegurar el cumplimiento del plazo del proyecto.
- Control de costos: ayuda a administrar la información de costos para tomar las decisiones que permitan mejorar el resultado económico del proyecto.
- Control de la productividad: se mide la eficiencia de la ejecución lograda para tomar decisiones que permitan el mayor manejo de los recursos.

2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.

Para la gestión de la producción establecemos ciclos de control de donde obtenemos la data necesaria para medir los avances realizados y la cantidad de trabajo realizado.

En las siguientes tablas vemos la producción que se realiza en función a cada tipo de roca que se puede encontrar en la ejecución de los trabajos. Además se ve la evolución de estos parámetros en el tiempo de ejecución del túnel, así podemos la comparativa entre el BUDGET (presupuesto) del 2012 y 2013

Cuadro N° 1.- Comparativa de presupuestos 2012 y 2013 – Roca B.

DESCRIPCIÓN	BUDGET 2012	BUDGET 2013
Precio de Excavación	\$ 33.48	\$ 31.02
Precio de Sostenimiento	\$ 586.77	\$ 1,658.13
Avance ml/día	5.23	6.02
Longitud de perforación	9 pies	10 pies
Eficiencia de ciclo	85%	90%
Malla de perforación	135 taladros	145 taladros
Velocidad de perforación de jumbo	1.30 ml/min	2.22 ml/min
Vida útil de accesorios		
Broca	350 ml	600 ml
Barra	1200 ml	3000 ml
Coupling	800 ml	3500 ml
Shank	2200 ml	3500 ml
Factor de carga	1.21 kg/m ³	1.35 kg/m ³
Eliminación	Cargador 966H - 3.1 m ³	Cargador 972 - 4.5 m ³
Botadero Temporal	200 ml	30 ml
Botadero Final	2,000 ml	500 ml
Carguío	4 pers. x 3.5 min/ taladro	9 pers. x 4.25 min/ taladro
Cantidad de pernos en bóveda	5 pernos	5 pernos
Cantidad de pernos en frente	-	-
Espesor de shotcrete en frente	-	5 cm
Espesor de shotcrete en bóveda	-	5 cm
Duración de ciclo de excavación	8.61 horas	6.61 horas
Duración de ciclo de sostenimiento (Pernos + Shotcrete)	2.00 horas	3.75 horas

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

Cuadro N° 2.- Comparativa de presupuestos 2012 y 2013 – Roca C.

DESCRIPCIÓN	BUDGET 2012	BUDGET 2013
Precio de Excavación	\$ 40.91	\$ 35.22
Precio de Sostenimiento	\$ 3,352.15	\$ 4,485.12
Avance ml/día	3.26	4.7
Longitud de perforación	6 pies	8 pies
Eficiencia de ciclo	85%	90%
Malla de perforación	135 taladros	145 taladros
Velocidad de perforación de jumbo	1.30 ml/min	2.22 ml/min
Vida útil de accesorios		
Broca	350 ml	600 ml
Barra	1200 ml	3000 ml
Coupling	800 ml	3500 ml
Shank	2200 ml	3500 ml
Factor de carga	1.16 kg/m3	1.33 kg/m3
Eliminación	Cargador 966H - 3.1 m3	Cargador 972 - 4.5 m3
Botadero Temporal	200 ml	30 ml
Botadero Final	2,000 ml	500 ml
Carguío	4 pers. x 3.5 min/ taladro	9 pers. x 3.3 min/ taladro
Cantidad de pernos en bóveda	5 pernos	5 pernos
Cantidad de pernos en frente	4 pernos	-
Espesor de shotcrete en frente	-	5 cm
Espesor de shotcrete en bóveda	15 cm	15 cm
Duración de ciclo de excavación	7.45 horas	5.92 horas
Duración de ciclo de sostenimiento (Pernos + Shotcrete)	3.67 horas	4.35 horas

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

2.4 RECURSOS PARA LA EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO.

Estos dos, son las fases más importantes que se tienen dentro de la ejecución del túnel de conducción. Dentro de cada fase se encuentran diferenciados los procesos de trabajo que lo componen. En esta sección, plasmaremos la diferenciación del trabajo que se realizó en campo para el control y seguimiento de cada proceso.

Ciclo de trabajo.

En el siguiente grafico presentaremos los componentes de la excavación y sostenimiento.

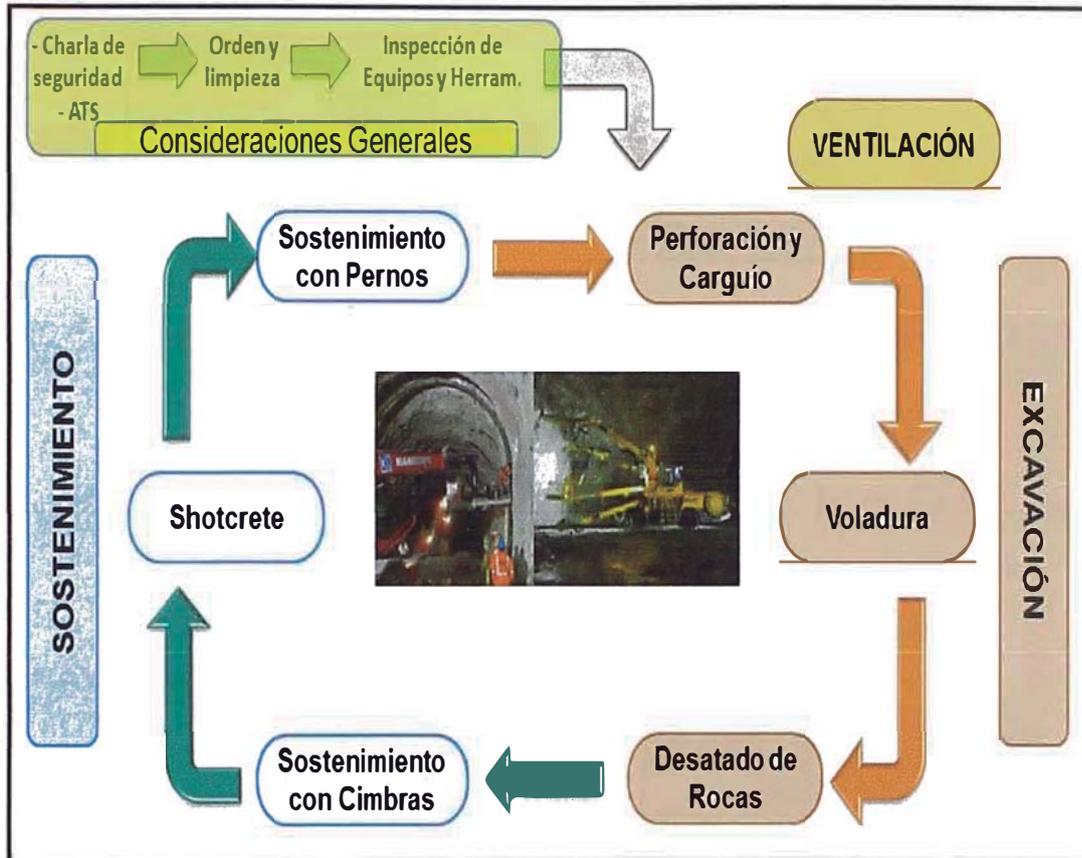


Figura N° 16.- Ciclo de producción del túnel de conducción.

Excavación:

Es el primer proceso a realizar, para ello se requiere de materiales, equipos y herramientas ya definidos.

A continuación mostramos el ciclo de producción de la excavación que se realiza para el túnel de conducción.

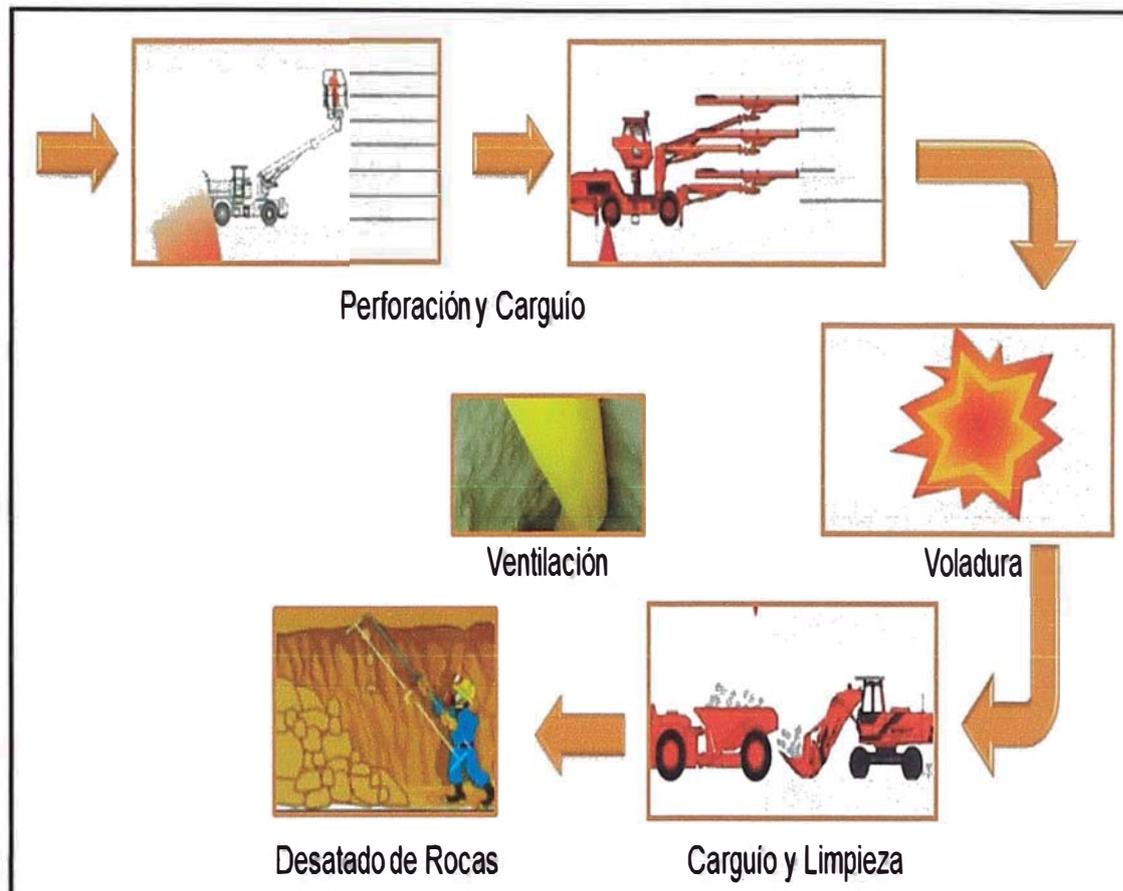


Figura N° 17.- Ciclo de excavación del túnel de conducción.

Perforación y carguío:

Es el proceso de trabajo donde se realizan los primeros trabajos de perforación para la colocación de los explosivos. Esta perforación se realiza con el equipo Jumbo de tres brazos el cual permite la facilidad de la ejecución del trabajo. Luego con un operador se procede a realizar la carga de los explosivos a detonar.

Perforación manual.

MANO DE OBRA:

- Perforista y Ayudante.

EQUIPOS:

- Perforadora Liviana.

HERRAMIENTAS:

- 1 Tirfor (Tecele).
- Barretillas de 4 y 6 Pies, 2 barretillas de aluminio de 12 pies.
- Lampas, picos, comba de 6 libras.
- 1 flexómetro.

MATERIALES:

- Barrenos de perforación.
- 1 Broca 38mm y 41mm. 1 broca Rimadora.
- Bidón para aceite.
- Guidores, fósforos, Tubo PVC y Pintura Spray

Perforación con Jumbo.

MANO DE OBRA:

- Operador de Jumbo.
- Perforista y Ayudante.

EQUIPOS:

- Jumbo de 02 y 03 brazos

HERRAMIENTAS:

- Llaves Stilson de 14" y Crescent de 12".
- Barretillas de 4, 6 y 12 pies de aluminio.
- Lampas, picos, comba de 6 libras.
- 1 flexómetro.

MATERIALES:

- Barras de 8 a 16 pies.
- Broca de 32mm a 45mm. Broca Escarriadora de 4".
- Adaptador Shank y adaptador Piloto.
- Guidores, fósforos, Tubo PVC y Pintura - Bidón para aceite.

Voladura:

Este proceso de trabajo es de corta duración. Culinado el carguío, se procede a establecer todos los protocolos de seguridad para luego ejecutar la voladura.

MANO DE OBRA:

- Manipuladores de explosivos.
- Perforista o disparadores.
- Ayudante.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

- Camión o vehículo de transporte de explosivos.
- Acuchilla, Badilejo, Paletas, Conos con cinta reflectivas.
- Radio de comunicación (uso en vigías).
- Detector de tormentas portátil (de ser necesario).
- Sistemas de comunicación (celulares, radios), Silbatos.
- Refugios aprobados: (Oficinas administrativas aterradas, Custers, Combis, camionetas 4x4).

MATERIALES:

- Dinamita, Accesorios de voladura, Fósforos, Tubo PVC.
- Mangas plásticas. Atacadores de madera/PVC.

Carguío y Limpieza:

Este proceso de trabajo permite retirar los residuos de la voladura y excavación.

MANO DE OBRA:

- Supervisor.
- Operadores.
- Perforista y Ayudante.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

- Telehandler.
- Excavadora con picótón.
- Scooptram.
- juegos de barretillas.

MATERIALES:

- Conos reflectivos y/o cinta delimitadora.

Desatado de rocas:

Luego de la voladura existen materiales que están cercanos a caer. Estos son desatados de manera manual para evitar accidentes.

MANO DE OBRA:

- Supervisor.
- Operadores.
- Perforista y Ayudante.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

- Telehandler.
- Excavadora con picótón.
- Scooptram.
- juegos de barretillas.

MATERIALES:

- Conos reflectivos y/o cinta delimitadora.

Sostenimiento:

Es el segundo proceso a realizar, para ello se requiere de materiales, equipos y herramientas ya definidos.

A continuación mostramos el ciclo de producción del sostenimiento que se realiza para el túnel de conducción.

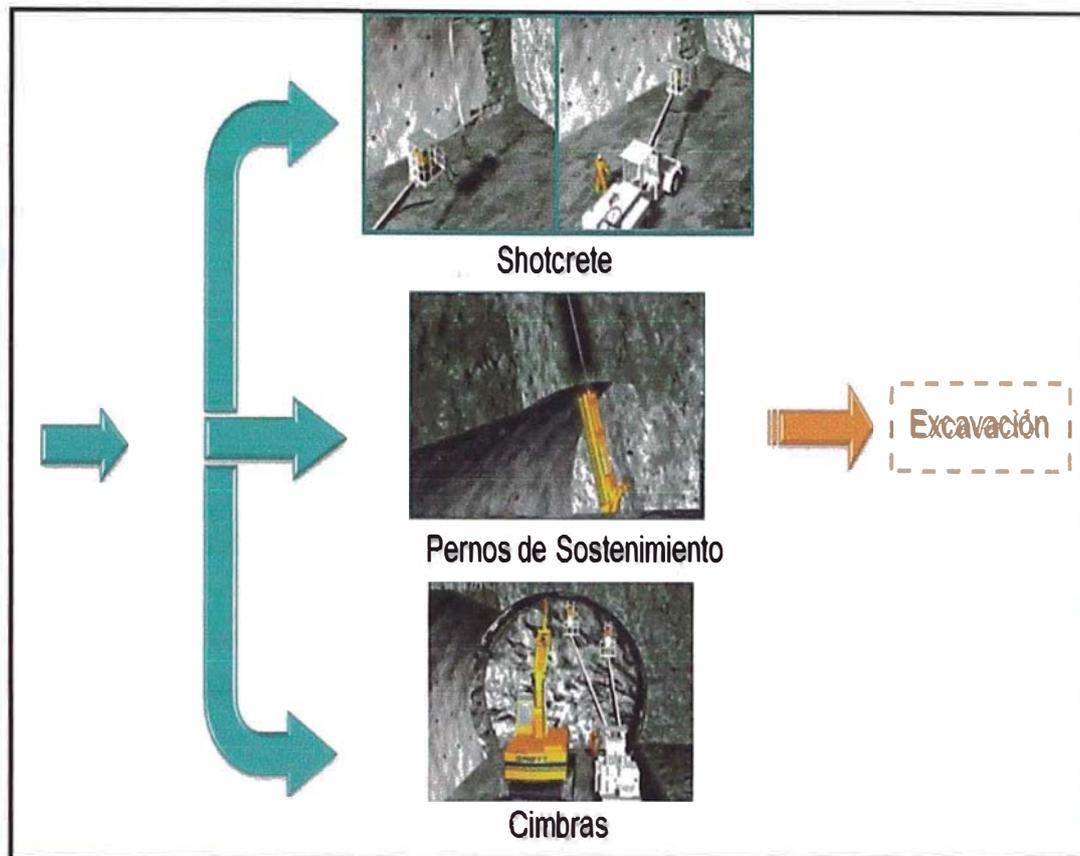


Figura N° 18.- Ciclo de producción de sostenimiento del túnel de conducción.

Shotcrete:

En este proceso de trabajo se utiliza el revestimiento de shotcrete como parte básica del sostenimiento. Las especificaciones de su uso estarán en función del tipo de roca a sostener.

MANO DE OBRA:

- Supervisor - Capataz.
- Operadores (Shotcretera – Telehandler).
- Operario Lanzador. Operario del carro mezclador.
- Operador de compresora de aire
- Ayudantes.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

Telehandler.

- Máquina lanzadora de shotcrete/accesorios
- Carro mezclador/transporte.
- Telehandler o equipo de izaje.
- Compresora de aire.

Pernos de sostenimiento.

En este proceso de trabajo se consideran los trabajos de sostenimiento usando los pernos de sujeción que son instalados manualmente.

MANO DE OBRA:

- Supervisor /Capataz. Mano de Obra.
- Perforista.
- Ayudante.
- Operador de Track drill (de ser requerido).
- Operador de Telehandler (de ser requerido).
- Operador de Jumbo (de ser requerido).

EQUIPOS

- Compresora.
- Perforadora manual o automatizada (Jumbo).
- Plataforma de trabajo o plataforma elevadora (en caso de ser necesario).
- Adaptadores para pernos helicoidales.
- Bomba lechadora.
- Equipo de ensayos de Laboratorio.

Cimbras:

Componente final del proceso de sostenimiento. Son estructuras de acero que sirven de apoyo a la sección trabajada.

MANO DE OBRA:

- Supervisor /Capataz. Mano de Obra.
- Operario Perforista.
- Ayudantes.
- Operador de Telehandler o equipo de instalación.
-

EQUIPOS

- Compresora.
- Patilladora, Máquina de soldar
- Perforadora manual. Compresora
- Telehandler, Plataforma de trabajo o plataforma elevadora (en caso de ser necesario).

2.5 INDICADORES DE LA GESTION DE LA PRODUCCIÓN.

Toda operación de construcción es susceptible de ser mejorada, ya sea al inicio de la misma o durante su ejecución. Con el fin de optimizar un proceso constructivo, el estudio de productividad se enfoca en reducir los tiempos improductivos (esperas, viajes con las manos vacías, tiempos ociosos, etc.), las interferencias con otras actividades, el uso inadecuado de equipos, etc.

El Estudio de Tiempos o Estudio del Trabajo es una técnica proveniente de la industria manufacturera para el análisis de operaciones, con el objeto de mejorar la Productividad.

Para realizar un estudio de tiempos se pueden usar varias técnicas, entre ellas se proponen las siguientes, las cuales destacan por su simplicidad e impacto:

- Mediciones de nivel general de actividad.
- Cartas de balance.

2.5.1 Mediciones de Nivel General de Actividad

Es una herramienta estadística que se usa para determinar el nivel general de la actividad en un sector, frente o en todo el Proyecto, en términos de la división de

trabajo. Muestra cómo se ocupa el tiempo durante el desarrollo de los procesos de construcción, separando el trabajo en categorías: trabajo productivo, contributivo y no contributivo.

Es útil cuando se quiere cuantificar situaciones que, de acuerdo a la simple observación, parecen ser “pérdidas”, tales como: viajes, esperas, etc. También es útil para establecer un benchmark interno, midiendo el impacto de los cambios o mejoras hechas a los procesos constructivos.

Para realizar las mediciones de nivel general de actividad se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Definición del alcance de la medición: actividades a medir, sectores a medir, objetivos de la medición, grado de detalle de la medición, etc.
- b. Antes de iniciar la medición se deben identificar los trabajos que componen las diferentes categorías (TP, TC y TNC), dependiendo del tipo de operación.
- c. Observar de manera aleatoria los trabajos que realiza el personal obrero, y registrarlos en un formato clasificándolo de acuerdo a la división del trabajo hecha en el paso b.
- d. Procesar la información y presentarla en forma gráfica y redactar un informe por escrito de las ocurrencias durante la medición

2.5.2 Cartas de Balance

A diferencia del Nivel General de Actividad, la Carta Balance se centra en una actividad específica. Es una herramienta estadística que permite describir detallada y formalmente el proceso de una operación de construcción, ayudando a analizar el método usado y a determinar la cantidad de obreros más adecuada para la cuadrilla.

También, con la utilización de esta herramienta, se obtiene información para el análisis de los rendimientos.

El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, más que la eficiencia de los obreros. No se pretende conseguir que el obrero trabaje más duro, sino en forma más inteligente. Las vías para mejorar la

eficiencia del grupo de trabajo son la reasignación de tareas entre sus miembros o la modificación del tamaño del grupo que conforma la cuadrilla. Para hacer una carta de balance se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Observar y entender la actividad que se va a muestrear.
- b. Identificar a cada uno de los integrantes de la cuadrilla.
- c. Antes de iniciar el muestreo se deben identificar los trabajos que componen las diferentes categorías (TP, TC y TNC), y definirlos para la operación que se va a estudiar, y además asignarle a cada uno, una letra o clave.
- d. Registrar en el formato de Carta de Balance, minuto a minuto, las actividades de cada uno de los integrantes de la cuadrilla
- e. Procesar los datos recogidos en una hoja de excel, graficando las barras de distribución del uso de tiempo en las diferentes actividades. Además se puede distribuir porcentualmente el uso del tiempo para cada uno de los integrantes de la cuadrilla.
- f. Escribir un informe considerando insumos, proveedores, clientes, rendimientos, etc.



Figura N° 19.- Clasificación de los tipos de trabajo en obra.

CAPÍTULO III: HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL

En este capítulo se expondrán el por qué se dio énfasis al uso de estas herramientas para el control de los avances del túnel de conducción. Su funcionamiento e importancia en el día a día, así como los resultados positivos que se obtuvieron en su aplicación. En estas herramientas se basan en los controles de materiales, equipos, herramientas y eventos diarios.

3.1 JUSTIFICACIÓN DEL USO DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

Las condiciones geométricas y geológicas del túnel de conducción se quedaron definidas en la ingeniería básica del proyecto; además, las condiciones de venta por metro lineal y rendimiento se encuentran plasmadas en el contrato de obra del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. Siendo las fechas de inicio de los trabajos en el túnel de conducción 18 de marzo del 2013 y 18 de noviembre del 2013, para el Frente desde Presa y el Frente Casa de Máquinas respectivamente. El escenario inicial para la ejecución del túnel fue el siguiente:

Cuadro N° 3.- Condiciones contractuales por tipo de roca desde Frente ODP

Frente desde Presa			
ROCA	Metrado según contrato	Rendimiento según contrato	Días
TIPO	(ml)	(ml/día)	
A	243.10	5.30	46
B	1,549.39	5.00	310
C	1,204.41	4.35	277
Cr	-	3.50	-
C2	-	2.50	-
D	257.22	2.00	129
E	188.63	1.50	126
TOTAL	3,442.75		887
Fecha de Inicio =			18/03/2013
Fecha Fin Contractual =			21/08/2015

Fuente: Área de Control de Proyectos – CH Cerro del Águila

Cuadro N° 4.- Condiciones contractuales por tipo de roca desde Frente CDM

Frente desde Casa de Máquinas			
ROCA	Metrado según contrato	Rendimiento según contrato	Días
TIPO	(ml)	(ml/día)	
A	138.21	5.20	27
B	1,033.05	4.95	209
C	803.04	4.30	187
C2	-	2.40	-
D	183.61	1.90	97
E	138.21	1.50	92
TOTAL	2,296.12		611
Fecha de Inicio =			18/11/2013
Fecha Fin Contractual =			21/07/2015

Fuente: Área de Control de Proyectos – CH Cerro del Águila

El escenario contractual de obra establecía como la culminación de los trabajos del túnel de conducción, al 21 de agosto del 2015, bajo los rendimientos establecidos en el contrato.

La producción de los primeros meses se estableció desde el Frente Presa. Se tomaron controles iniciales para los avances que estaban en función de las condiciones contractuales. Con el avance de los trabajos, las condiciones geológicas fueron variando (en los cantidades por tipo de roca), que traía como consecuencia replantear las herramientas de planificación y control o implementar nuevas.

La ingeniería básica del proyecto, se actualizó a una ingeniería de detalle que estaba en función de la ejecución de los trabajos; condición que estableció nuevas cantidades por tipo de roca. Con ello, la situación del presupuesto al cierre de setiembre del 2013 era el siguiente:

Cuadro N° 5.- Condiciones por tipo de roca desde el Frente ODP a Set. 2013

Frente desde Casa de Máquinas			
ROCA TIPO	Metrado según Ingeniería de Detalle (ml)	Rendimiento según contrato (ml/día)	Días
A	138.21	5.20	27
B	1,033.05	4.95	209
C	803.04	4.30	187
C2	-	2.40	-
D	183.61	1.90	97
E	138.21	1.50	92
TOTAL	2,296.12		611
Fecha de Inicio =			18/11/2013
Fecha Fin Contractual =			21/07/2015

Fuente: Área de Control de Proyectos – CH Cerro del Águila

Cuadro N° 6.- Condiciones por tipo de roca desde el Frente CDM a Set. 2013

Frente desde Casa de Máquinas			
ROCA TIPO	Metrado según Ingeniería de Detalle (ml)	Rendimiento según contrato (ml/día)	Días
A	-	5.20	-
B	108.10	4.95	22
C	1,052.20	4.30	245
C2	881.30	2.40	367
D	110.90	1.90	58
E	-	1.50	-
TOTAL	2,152.50		692
Fecha de Inicio =			18/11/2013
Fecha Fin Actualizada =			11/10/2015

Fuente: Área de Control de Proyectos – CH Cerro del Águila

La variación de la fecha fin para las condiciones actualizadas a setiembre del 2013, proyecta 259 días de retraso; proyectando el fin de la obra el 06/05/2016.

Esto generaría un impacto en todo el proyecto debido a que el túnel de conducción se encuentra de la ruta crítica del proyecto.

El plazo del proyecto, descrito en el capítulo I, establecía como fecha de fin de proyecto el 02 de febrero del 2016. El no cumplimiento con la fecha fin establecida, obligaría al proyecto a cumplir con penalidades altas. Esta alerta estableció dos opciones antes de continuar con los trabajos: validar lo que se había realizado como actualización de las cantidades por tipo de roca o generar un sistema de mapeo de procesos constructivos que lleven a mejorar los rendimientos de los túneles por cada tipo de roca.

Se estableció el siguiente esquema de trabajo como punto de partida para la obtener la mejora de los rendimientos por tipo de roca. Para ello se interactuó con todas las áreas involucradas (ingeniería, producción, calidad, control de proyectos) para establecer los procesos de control.

Establecido el punto de partida se comenzó a realizar el mapeo de los procesos y con ellos los flujos de los procesos, que permitiría verificar los puntos a donde apuntar la optimización de los y trabajos y recursos (reducción del TNC y TC; y ser más eficiente y eficaz).

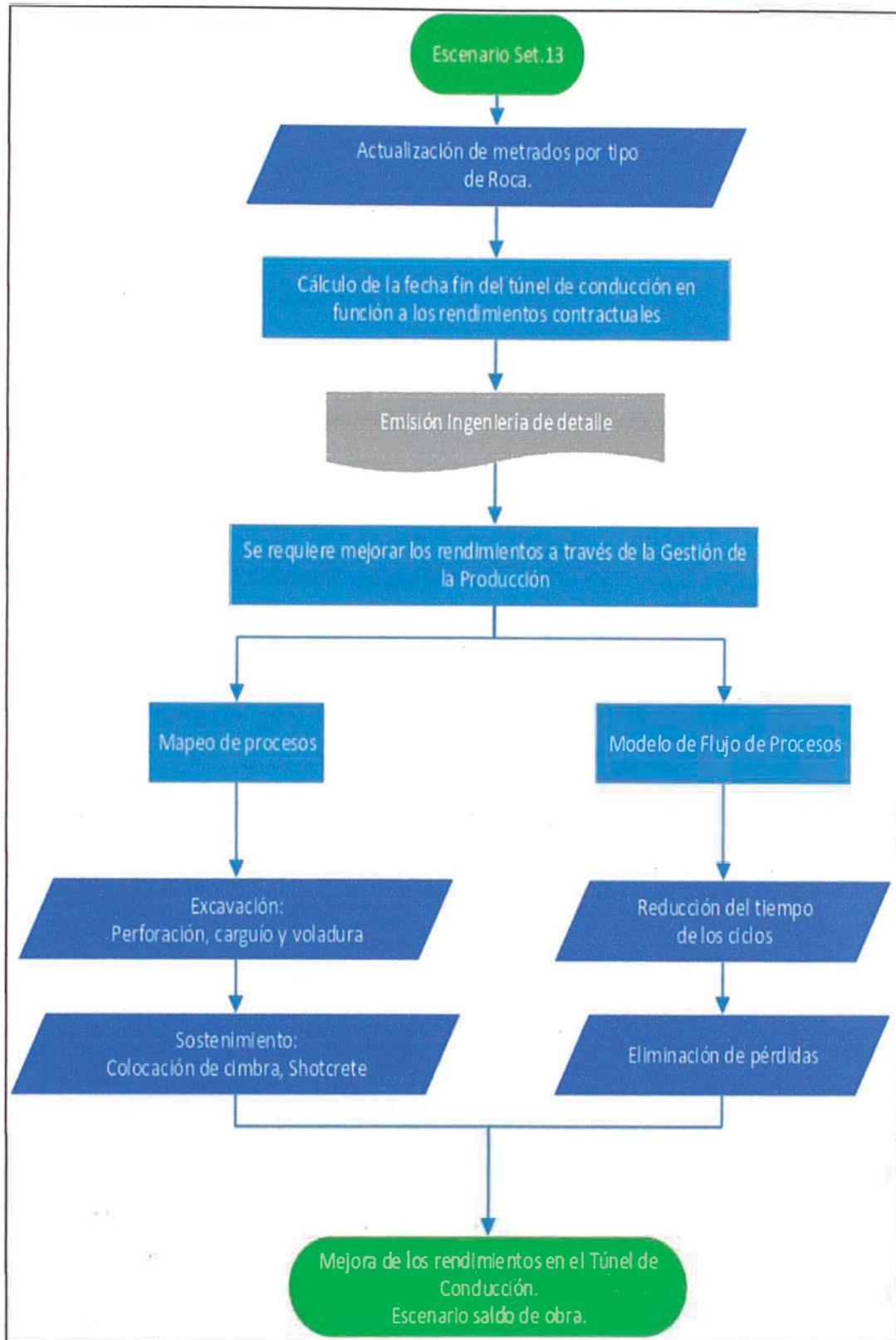


Figura N° 20: Metodología de desarrollo de la Gestión de la Producción

3.2 CONTROLES DE MANO DE OBRA, EQUIPOS, MATERIALES.

Para la ejecución del túnel de conducción se debe diseñar, dirigir y controlar las operaciones productivas.

En ese sentido, es el manejo sistemático y metódico de las actividades de ejecución y soporte, a través de técnicas que permiten lograr la continuidad del flujo de producción y su optimización.

Los materiales, equipos y mano de obra usados semanalmente son controlados mediante las herramientas denominadas indicadores oportunos. Tenemos los siguientes:

- Índice de productividad de mano de obra.
- Índice de productividad de equipos.
- Índice de productividad de combustible.
- Índice de productividad de agregados.

Cuadro N° 7.- Rendimientos, materiales y equipos por tipo de roca

		TÚNEL DE CONDUCCIÓN - ENTRADA				
		Excavación				
		"A"	"B"	"C"	"D"	"E"
DESCRIPCIÓN	UND	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta
Avance por Día	mj	0.31	0.02	4.70	3.32	1.01
Longitud de Perforación	mj	14	10	8	6	4
Turnos x Día	Und	2.05	2.12	2.14	2.08	1.05
Factor de eficiencia del disparo	%	85%	85%	90%	88%	80%
Distancia al Botadero Temporal	Km	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Distancia al Botadero Final	Km	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Sobreexcavación sobre el Área Teórica	%	0.00%	0.00%	0.00%	10.15%	10.15%
Cuadrilla por Frente	Und	34	34	34	34	34
Capataz Civil (Subterráneo)	Und	1	1	1	1	1
Operador	Und	23	23	23	23	23
Oficial	Und	0	0	0	0	0
Topógrafo	Und	1	1	1	1	1
Peón	Und	5	5	5	5	5
Equipos de Excavación	Und	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Jumbo XE3C	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jumbo L2D	Und.					
Cargador 972	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cargador 980	und					
Volquete SemiRoquero 13m3	und	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Excavadora 320 HP	und	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Equipos de Sostentamiento	Und	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Robot Shotcretero Putzmeister 300P (20m3/hr)	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Manipulador Telescópico 4Tn	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perforadora Manual / Pie de Avance	und	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Martillo Neumático	und	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Equipos de Servicio	Und	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Camión Plataforma con Grúa 9Tn	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ventilador 150 HP, Q=60,000 pcm	und	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Electrobomba 65 kw BIBO 2250 HT de Flygt	und	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Estación Total	und	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
N° de taladros perforados	Und	145.00	145.00	145.00	138.00	134.00
N° de taladros de recorte	Und	10.00	10.00	10.00	8.00	8.00
Factor de Explosivos	kg/m3	1.300	1.335	1.330	1.077	1.011
Cantidad de Pernos 3.00 mj	Und	2.00	4.88	4.88	-	-
Cantidad de Pernos 4.00 mj	Und	-	-	-	-	4.00
Cantidad de Pernos 6.00 mj	Und	-	-	-	8.00	15.14
Espesor de shotcrete en Bóveda y Hastiales	mj	-	0.05	0.15	0.20	0.70
Espesor de shotcrete en Frente	mj	-	-	0.05	0.05	0.05
Shotcrete Real en Bóveda y Hastiales	m3/mj	-	2.71	8.15	10.84	11.83
Shotcrete Real en Frente	m3/mj	-	-	3.43	4.77	8.68
Desperdicio del Shotcrete	%	0%	100%	100%	100%	120%
Horas de Trabajo por Guardia	Hr	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

3.3 CONTROL DE AVANCE DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.

El túnel de conducción se encuentra actualmente con un avance del 27.84% (1590 ml de los 5732ml totales). El túnel tiene dos frentes de trabajo, uno por la ubicación aguas arriba (Sector Presa) y otro por la ubicación aguas abajo (Sector Casa de Máquinas). El siguiente grafico describe la situación actual.

Con los status a la fecha y la programación establecida para la culminación de los trabajos; se elaboró la herramienta: Reporte de avance del túnel de conducción, esta herramienta fue creada para relacionar los reportes emitidos por ambos sectores (Presa y Casa de Máquinas) y puedan ser plasmado en un grafico donde se relacione principalmente el plazo, donde nuestro objetivo a monitorear sea el saldo de los trabajos.

Para ello se establecio, según los avances reportados, una meta diaria de obra y una meta dinamica de obra. La meta diaria de obra son los metros lineales por día que se tiene que ejecutar para llegar a cumplir el objetivo de concluir el tunel en el 2015, la meta dinamica de obra son los metros lineales por día que debemos realizar para estar efectivamente seguros de concluir el tunel de conduccion en la fecha establecida. Por ello la meta diaria de obra es una constante, en este caso 9.7m/día, y la meta dinamica de obra puede variar.

A un avance menor por día la meta dinamica crecera para de esa manera poder ser posible la fecha de entrega. Además, los avances en el tunel de conduccion estan sujetos al tipo de roca que se encuentra.

Existen mapeos geologicos que establecen un previsto por tipo de roca a encontrar durante la ejecución; estos previstos tienen un grado de variabilidad al realizar los trabajos in situ. Por otra parte, cada tipo de roca demanda un trabajo diferente, encontrandonos con 5 tipos de roca establecidas en el contrato donde el mejor tipo de roca a trabajar es la roca tipo A y la roca mas desfavorable para trabajar es la roca tipo E. Para uniformizar estas variables, se crea en el reporte indicado el concepto de Roca Equivalente (RE), donde de acuerdo al Precio Unitario establecido para cada roca estimamos un avance equilavante en metro lineales, el cual tiene por objetivo reflejar el “esfuerzo” realizado en la ejecución de los trabajos.

**Roca Equivalente 2014 - (RE)
CDM vs ODP**

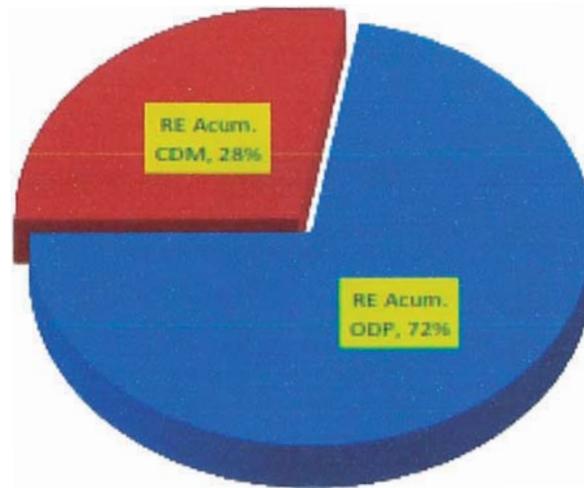


Figura N° 22.- Avance por frente de trabajo del túnel de conducción.

De esta manera tenemos una herramienta de control de avance del túnel de conducción, para el saldo 2014. Y para ello hemos descrito y establecido lo siguiente a resumen.

Antecedentes:

- La conexión temprana del túnel de conducción, ayudará a comunicar ambos frentes en menor tiempo para el resto de la obra (Año 2015)
- Se tienen 2 frentes de trabajo. Túnel de conducción desde entrada (ODP) y túnel de conducción desde Salida (CDM), ambas con condiciones similares.
- Se requiere de un avance lineal de por lo menos 9.7ml de excavación si queremos llegar a la meta de fin de año.
- Se plantea generar sana competencia entre ambos frentes, e inclusive entre turno día y noche en cada frente.

Consideraciones:

- Se va a medir el avance diario por cada frente en metros lineales, la suma de ambos frentes debe sobrepasar los 9.7ml/día para asegurar el éxito de nuestro objetivo. (No se considera el tipo de roca, solo el avance lineal)
- Se introduce el concepto de "ROCA EQUIVALENTE (RE)", el cual pondera el esfuerzo que se tiene que realizar por cada tipo de roca. (Acá entra el concepto del tipo de roca excavada)
- El inicio de la medición ha comenzado el día 6 de Enero.
- El rendimiento meta diario (9.7ml/día), considera que se labora 6 días de los 7 en la semana.
- Se incluye el concepto de META DINÁMICA, que varía de acuerdo al avance que vamos teniendo. Por ejemplo, nuestra meta comienza en 9.7ml/d, si no llegamos a obtener los resultados deseados en 1 semana, nuestra meta dinámica para nuestro saldo a ese día, aumentaría a 9.9ml/día. O en el caso inverso, si sobrepasamos la meta original, nuestra meta dinámica para el saldo puede reducirse a 9.5ml/día.

El objetivo de esta herramienta no es entrar al detalle del flujo ni del proceso de construcción del túnel, básicamente es hacer seguimiento a la meta anual que tenemos en la obra.

Además se integró toda esta data de manera que pueda emitirse como reporte semanales donde analizamos nuestro porcentaje de plan cumplido (PPC)

Las reuniones diarias de coordinación permiten establecer la reducción de la variabilidad en los avances en el túnel, esto debido a que en estas reuniones se realizan las coordinaciones necesarias entre las áreas de producción y las áreas de soporte para garantizar las condiciones necesarias para que los avances previstos se cumplan.

Las reuniones semanales de producción evalúa el mejoramiento de los flujos reduciendo las actividades que no agregan valor, en este caso las esperas. Con ello se logra mejorar y reducir el tiempo de los ciclos.

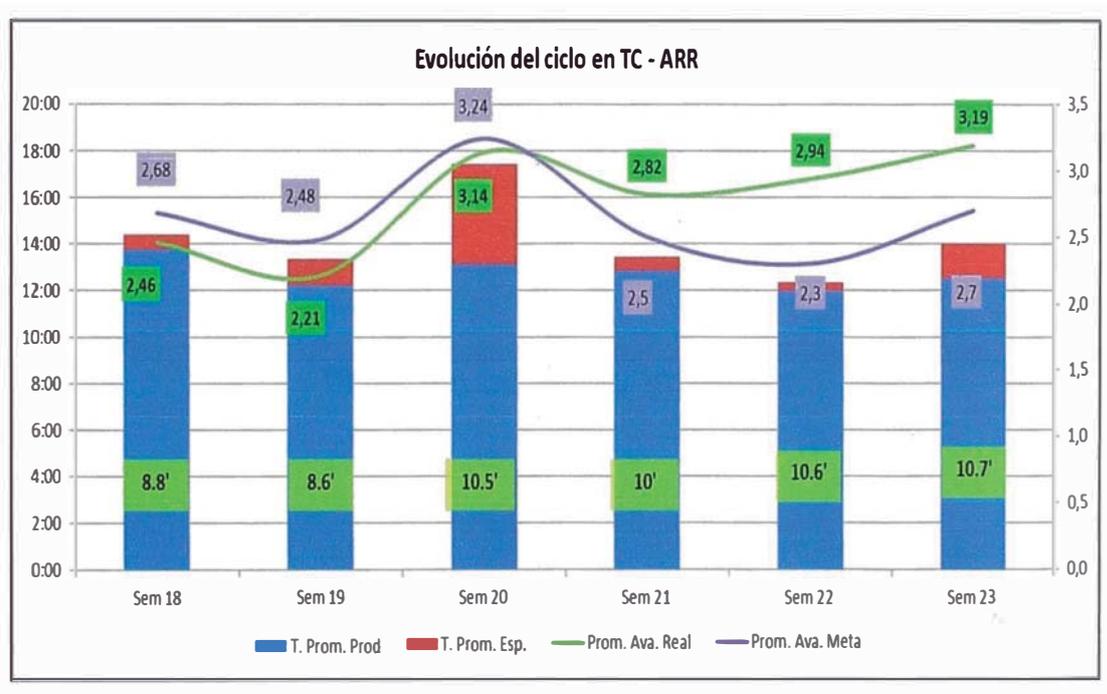


Figura N° 24: Evolución del ciclo del túnel de conducción semanalmente.

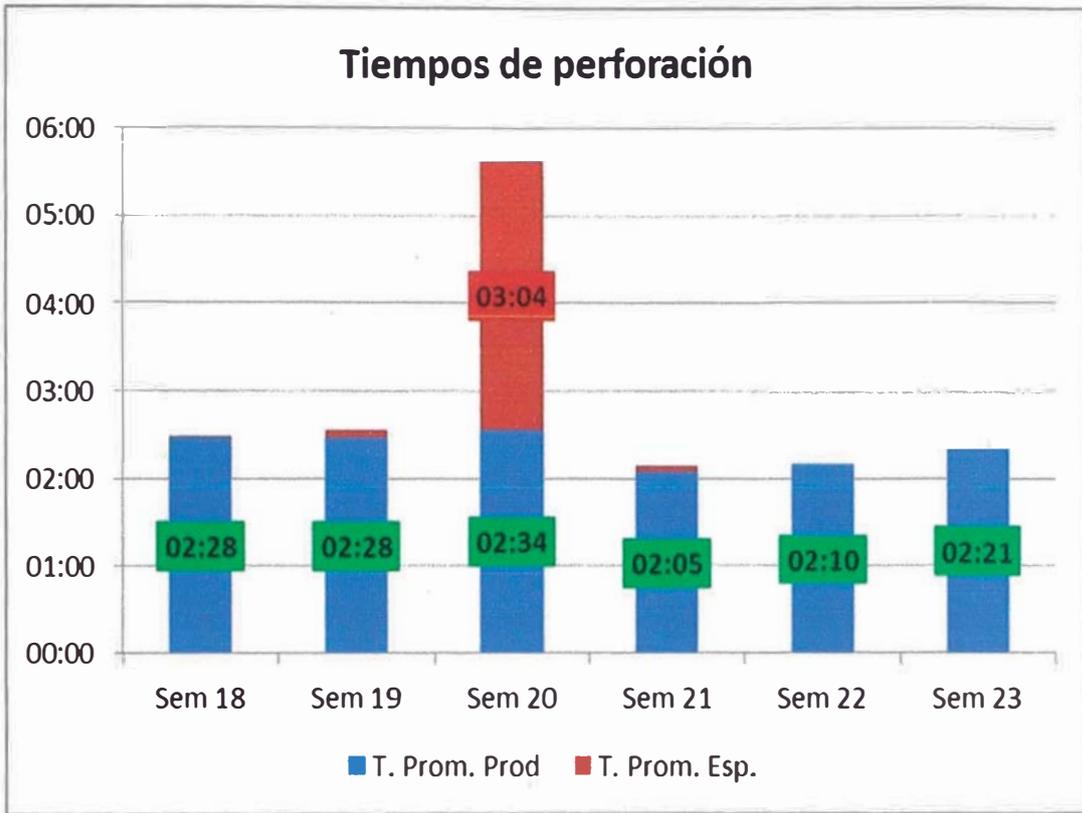


Figura N° 25: Tiempos en el proceso de perforación

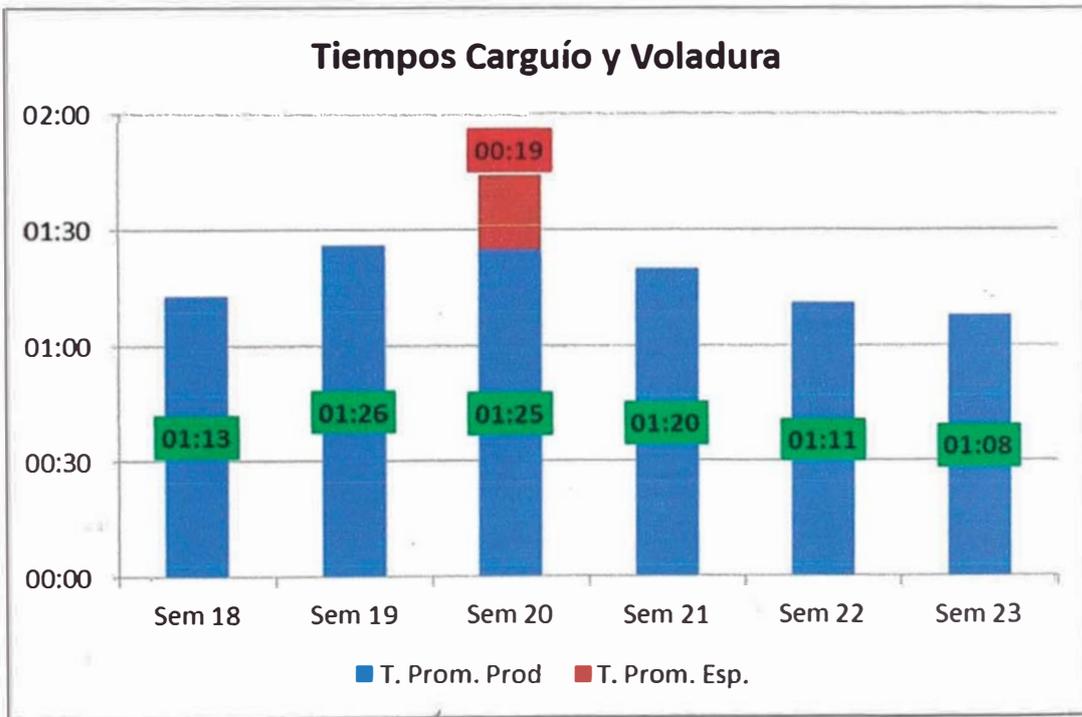


Figura N° 26: Tiempos en el proceso de carguío.

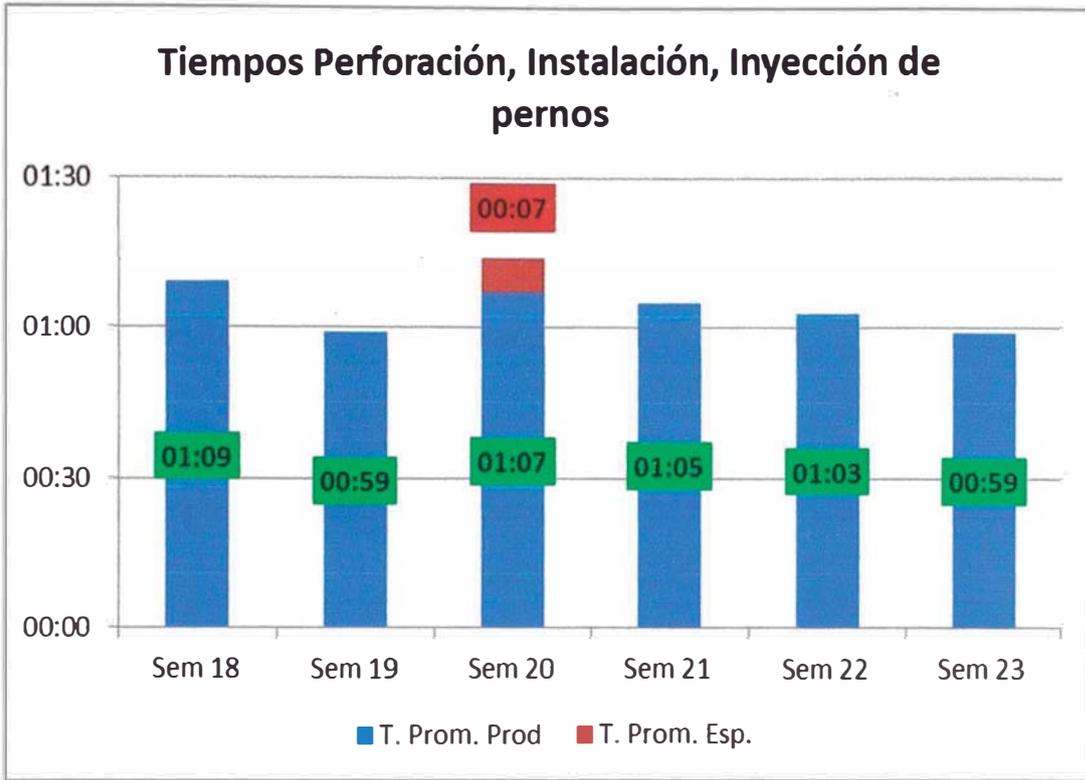


Figura N° 27: Tiempos en el proceso de inyección de pernos.

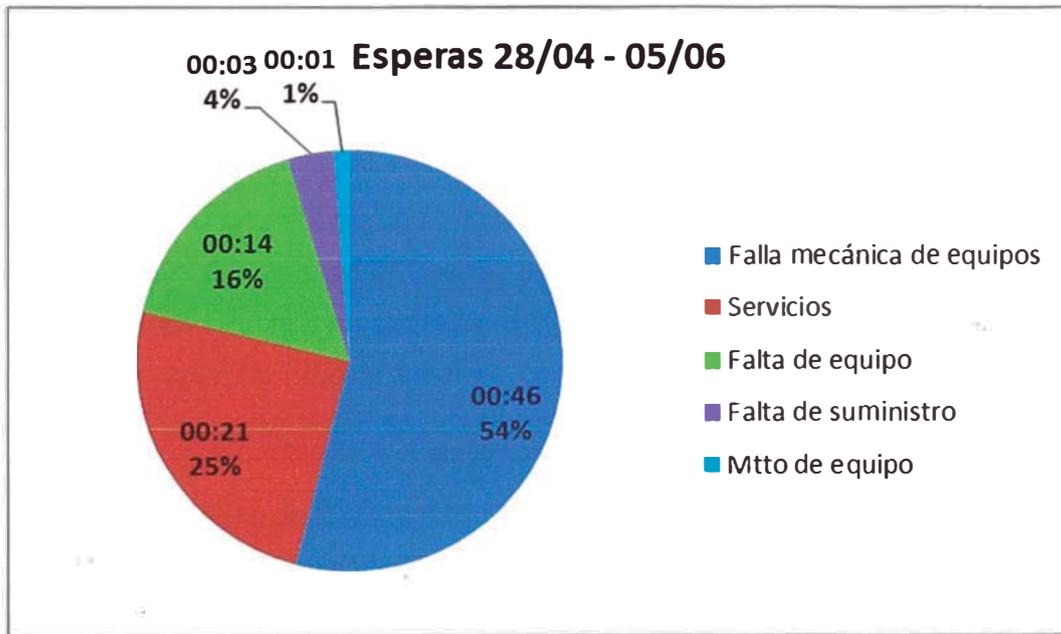


Figura N° 28: Análisis de las esperas incurridas en el ciclo de producción.

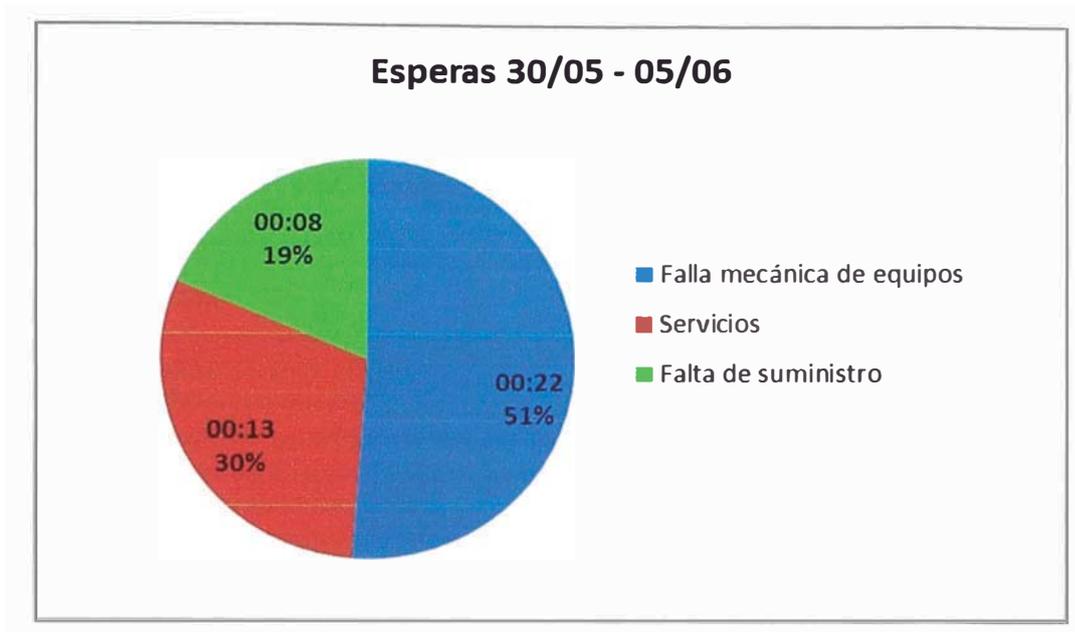


Figura N° 29: Análisis de las esperas incurridas en el ciclo de producción.

Las reuniones de metas mensuales establecen las comparaciones periódicas que permiten medir el nivel de éxito en la gestión del mes.

De esta forma garantizamos la organización de la producción como un flujo continuo y confiable.

3.4 REPORTE DIARIO DE OBRA

El reporte diario de obra es una herramienta importante pues sirve como registro de actividades diarias ante el Cliente. Este documento es enviado diariamente y en el podemos describir los trabajos realizados. En la siguiente imagen podemos ver que se describe para el túnel de conducción los trabajos realizados en las progresivas indicadas y que tipo de trabajos son: excavación o sostenimiento.

Los reportes diarios de avance permiten evaluar puntualmente los resultados que hemos tenido en la gestión de las reuniones diaria. Muestran la fotografía del momento, que demuestra el enfoque en el control de los procesos.

Con ello garantizamos que la data reflejada en el Reporte de Avance del Túnel de Conducción es una data confiable de al cual todas la partes involucradas en la ejecución (contratista y supervisión) tienen conocimiento.

Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A. (COA)	Contrato: TURNKEY ENGINEERING, PROCUREMENT AND CONSTRUCTION CONTRACT FOR THE CERRO DEL AGUILA HYDROELECTRIC POWER PLANT	Proyecto: PROYECTO HIDROELÉCTRICO CERRO DEL ÁGUILA
TURNO Día	HORARIO DE TRABAJO From 07:00 a.m. to 07:00 p.m.	CUMA Normal
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO		
<p>TALLER Y ALMACENES</p> <p>Habilitado de acero para vigas, sardinel y losa de balanza: ϕ 3/8", Peso= 399 Kg; ϕ 1/2", Peso= 612 Kg; ϕ 5/8", Peso= 191 Kg.</p> <p>Encofrado de zapata de muro de grifo, A= 22.8 m2.</p> <p>Encofrado de solado de la balanza, A= 8.8 m2.</p> <p>Colocado de acero para muro y pedestal de grifo barropata: ϕ 3/8", Peso= 601.20Kg.</p> <p>Colocado de acero para vigas de balanza electronica: ϕ 12 mm, Peso= 168 Kg; ϕ 1/2", Peso= 78 Kg; ϕ 5/8", Peso= 192 Kg.</p> <p>Vaciado de concreto para solado de balanza, V= 21 m3.</p> <p>Vaciado de concreto en piso para baño de grifo, V= 43 m3.</p> <p>COMEDOR BARROPATA</p> <p>Enchape de ceramicos en piso, A= 30 m2.</p> <p>TUNEL DE CONDUCCIÓN</p> <p>AGUAS ABAJO</p> <p>SOSTENIMIENTO ROCA TIPO D</p> <p>Aplicación de shotcrete preventivo, V= 10 m3, Prog. 1+973.90 @ 1+979.90</p> <p>Aplicación de shotcrete como proceso de sostenimiento, V= 28 m3, Prog. 1+973.40 @ 1+979.90</p>		

Figura N° 30.- Reporte diario de obra.

3.5 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS.

El principal resultado del Informe de Suficiencia fue llegar a cumplir con la meta de recuperar la fecha fin de plazo con las condiciones establecidas en setiembre del 2013. Conseguir ello permitió no afectar en el plazo a la ruta crítica del proyecto y con ello reducir el impacto posible ante un retraso total de la construcción de la central hidroeléctrica.

Pero los resultados positivos encontrados no solo se dieron en el sentido del plazo sino también en el sentido del ahorro de costo, algo que definitivamente hace más eficiente los procesos constructivos detectados.

Se describe a continuación los resultados obtenidos para el mapeo de procesos establecidos. Empezando por el valor ganado en el proceso de excavación y sus etapas; y luego en el proceso de sostenimiento.

Excavación: Se muestra la eficiencia en el sistema de trabajo por cada etapa del flujo de trabajo.

Perforación:

El ciclo de perforación es una actividad que se realizaba con un tiempo de 1.11 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, habilitación y deshabilitación, perforación y topografía en los porcentajes indicados en el cuadro inferior; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% con lo que la duración de la actividad se optimizó a 1.07 horas y con ello se optimizó la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

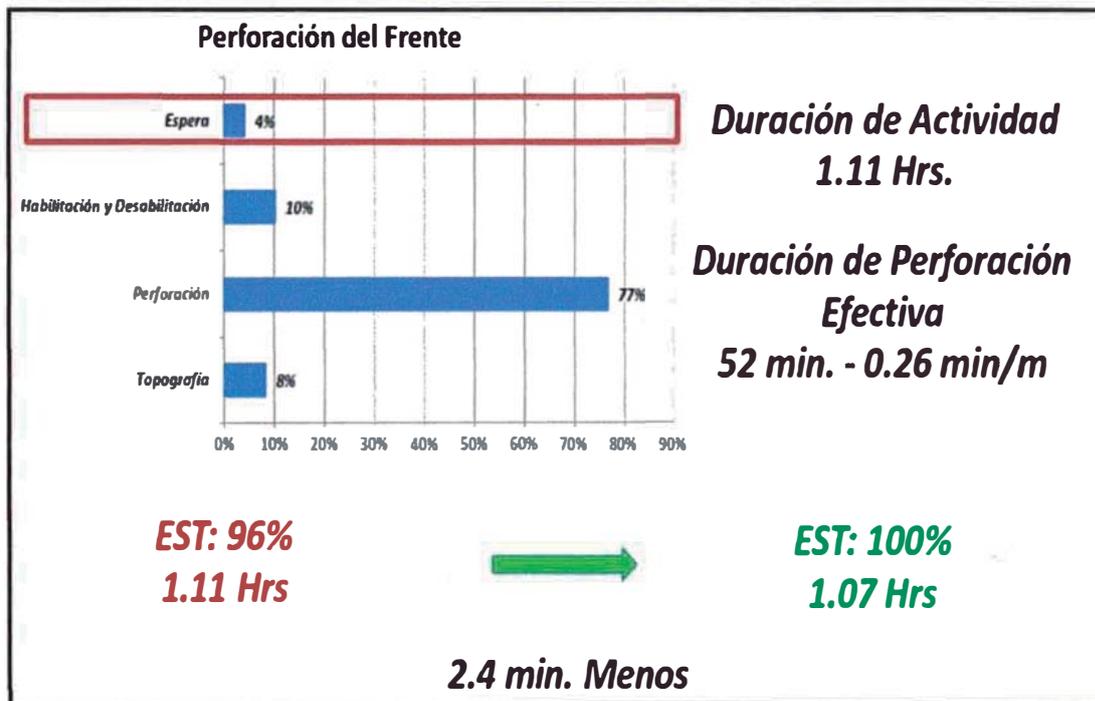


Figura N° 31.- Resultados de mejora en la perforación de frente.

Carguío y Voladura:

El ciclo de carguío y voladura es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 2.24 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de ventilación, revisión y chispeo, carguío de la sección,

limpieza de arrastre; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de los tiempos de ventilación sin alterar el buen funcionamiento, con lo que la duración de la actividad de optimizo a 2.01 horas y con ello se optimizo la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

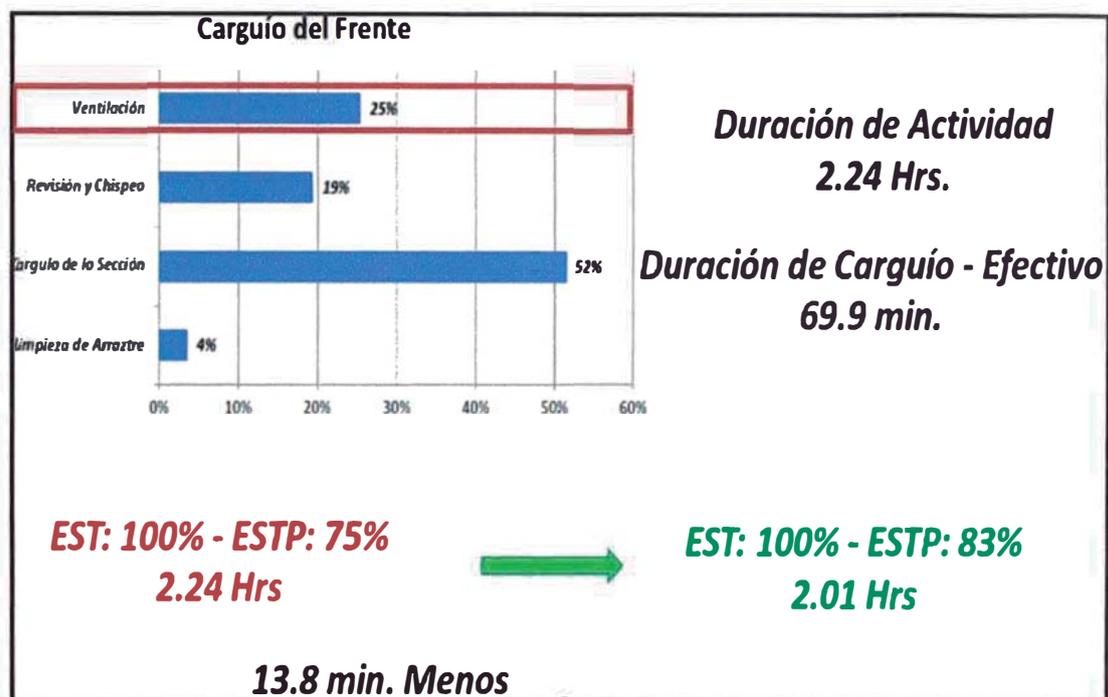


Figura N° 32.- Resultados de mejora en el carguío de frente.

Eliminación:

El ciclo de eliminación es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 2.40 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, acomodo de material, eliminación de material, humedecimiento de material; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% con lo que la duración de la actividad de optimizo a 2.21 horas

y con ello se optimizó la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

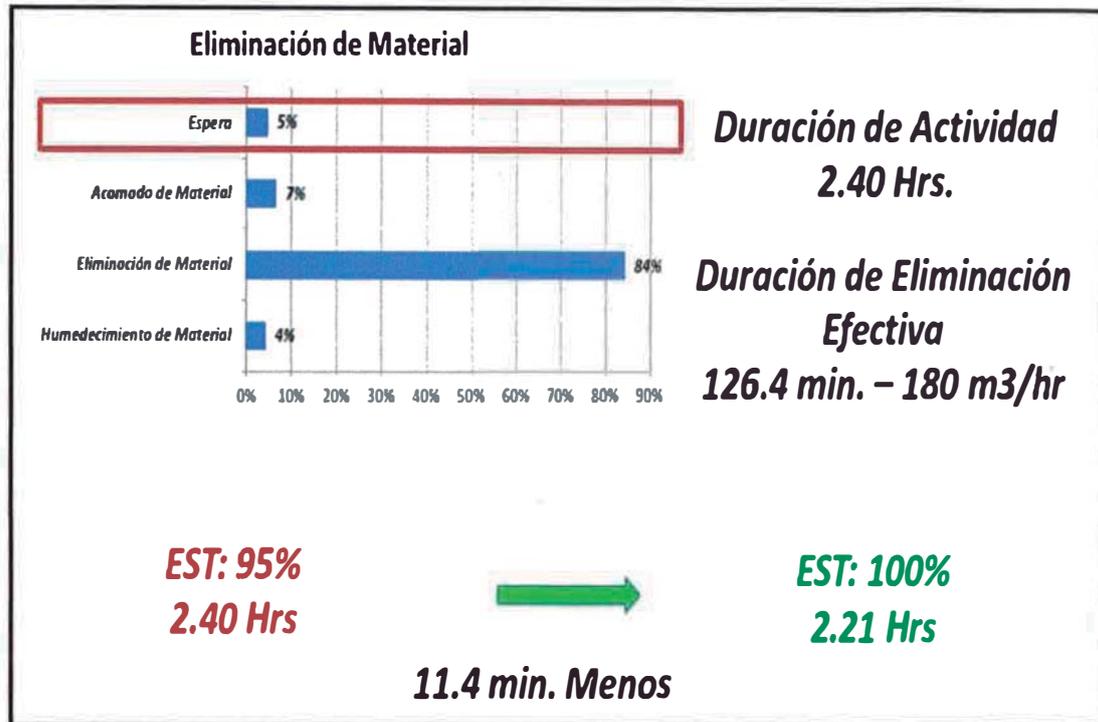


Figura N° 33.- Resultados de mejora en la eliminación de material.

Seccionamiento (toma de datos):

El ciclo de seccionamiento es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 1.77 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, habilitación y deshabilitación, conformación de rampa, intercambio, Lombardi (encargado del control geomecánico, seccionamiento del frente; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% y una reducción en la fase intercambio al 3% con lo que la duración de la actividad se optimizó a 1.72 horas y con ello se optimizó la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

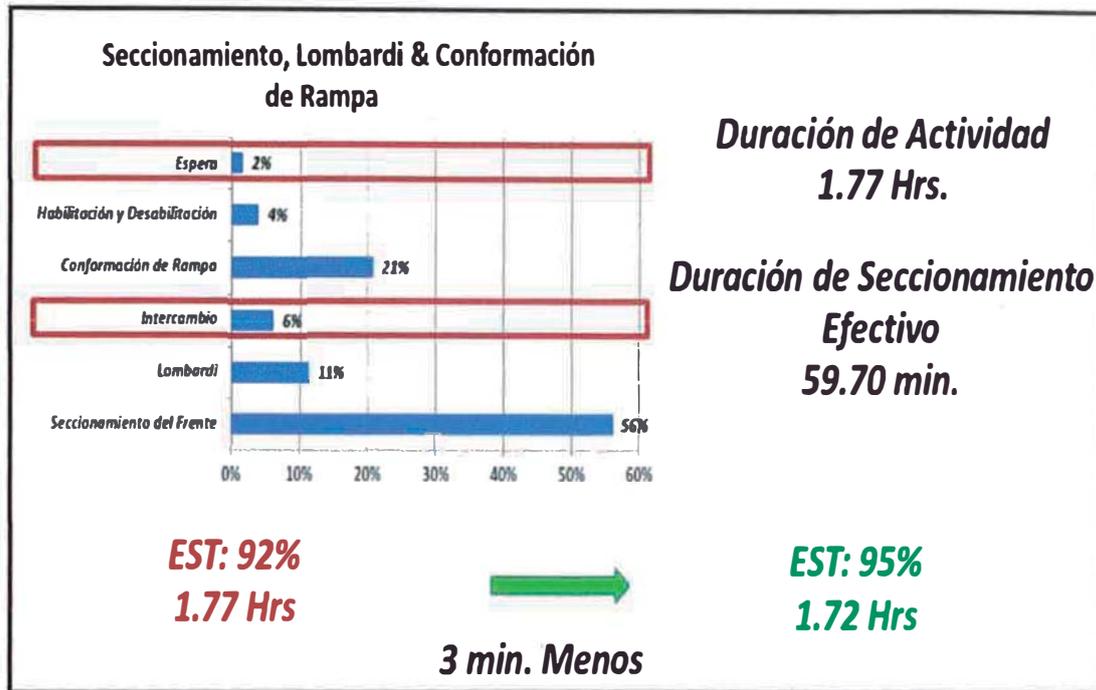


Figura N° 34.- Resultados de mejora en la convergencia.

Sostenimiento: Se muestra la eficiencia en el sistema de trabajo por cada etapa del flujo de trabajo.

Shotcrete Preventivo:

El ciclo de shotcrete preventivo es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 1.69 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, habilitación y deshabilitación, lanzamiento, intercambio; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas del 37% al 26% con lo que la duración de la actividad de optimizo a 1.26 horas. Aun en esta actividad falta optimizar los tiempos de espera debido a los problemas con las plantas de concreto y con el traslado de los mixers. A pesar

de ello se optimizó la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

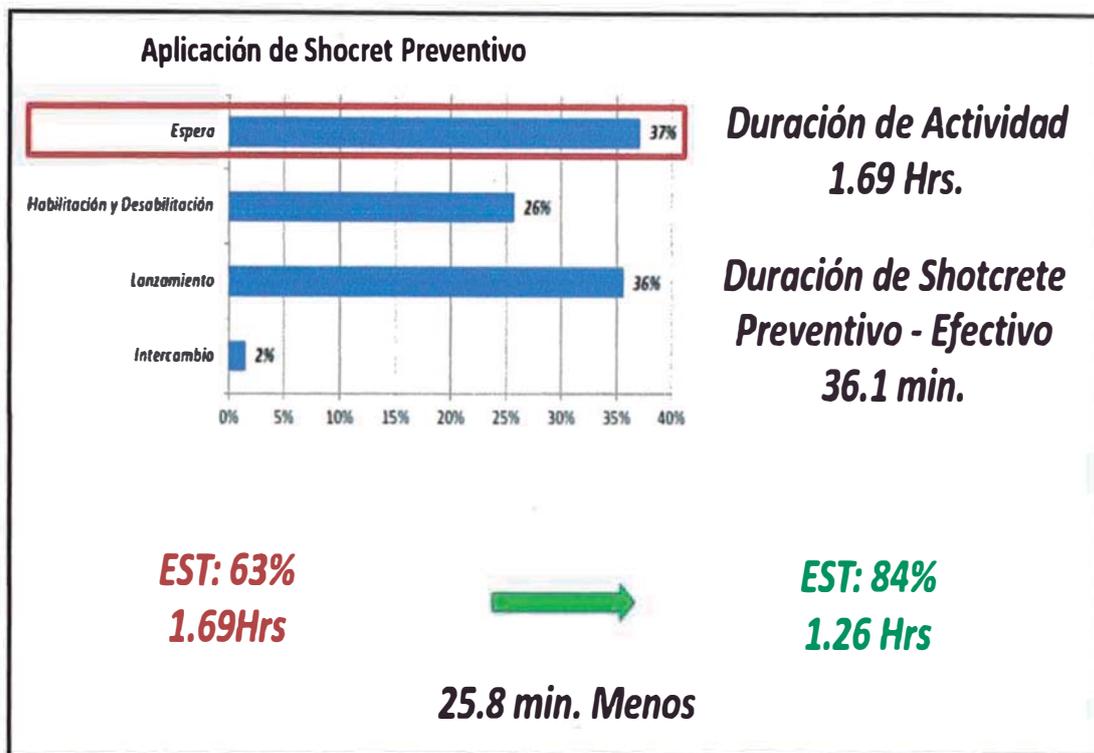


Figura N° 35.- Resultados de mejora en la aplicación de shotcrete preventivo

Instalación de cimbras:

El ciclo de instalación de cimbras es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 5.04 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, instalación de bovedas, soldadura, resina y colocación de varillas, perforación yacle, instalación de astiales, habilitación de hastiales; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% con lo que la duración de la actividad se optimizó a 4.33 horas y con ello se optimizó la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

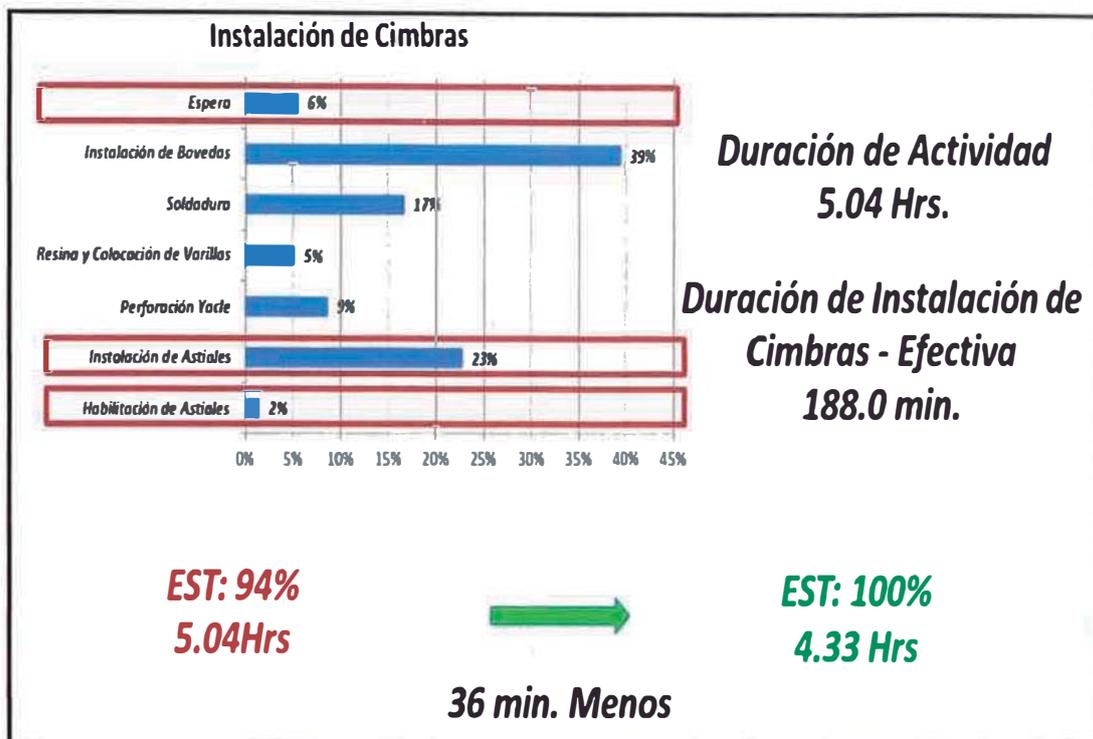


Figura N° 36.- Resultados de mejora en la instalación de cimbras.

Colocación de Mallas:

El ciclo de colocación de mallas es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 4.13 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas, colocación de mallas, habilitación; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% con lo que la duración de la actividad de optimizo a 3.52 horas y con ello se optimizo la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

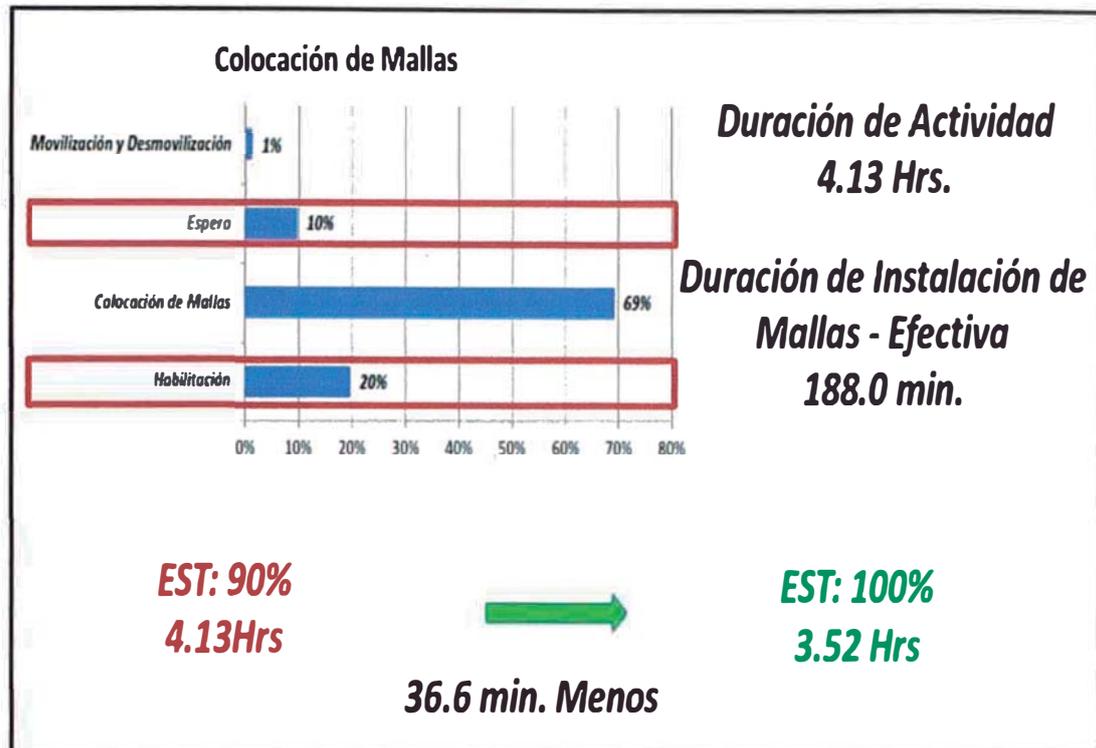


Figura N° 37.- Resultados de mejora en la colocación de mallas.

Shotcrete definitivo:

El ciclo de shotcrete definitivo es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 3.95 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de esperas del mixer, esperas propias del proceso, lanzamiento, intercambio, humedecer superficie, habilitación y deshabilitación; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de en la espera por el mixer al 0% y se siguió manteniendo la espera propia de la actividad al 11% con lo que la duración de la actividad de optimizo a 3.30 horas y con ello se optimizo la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

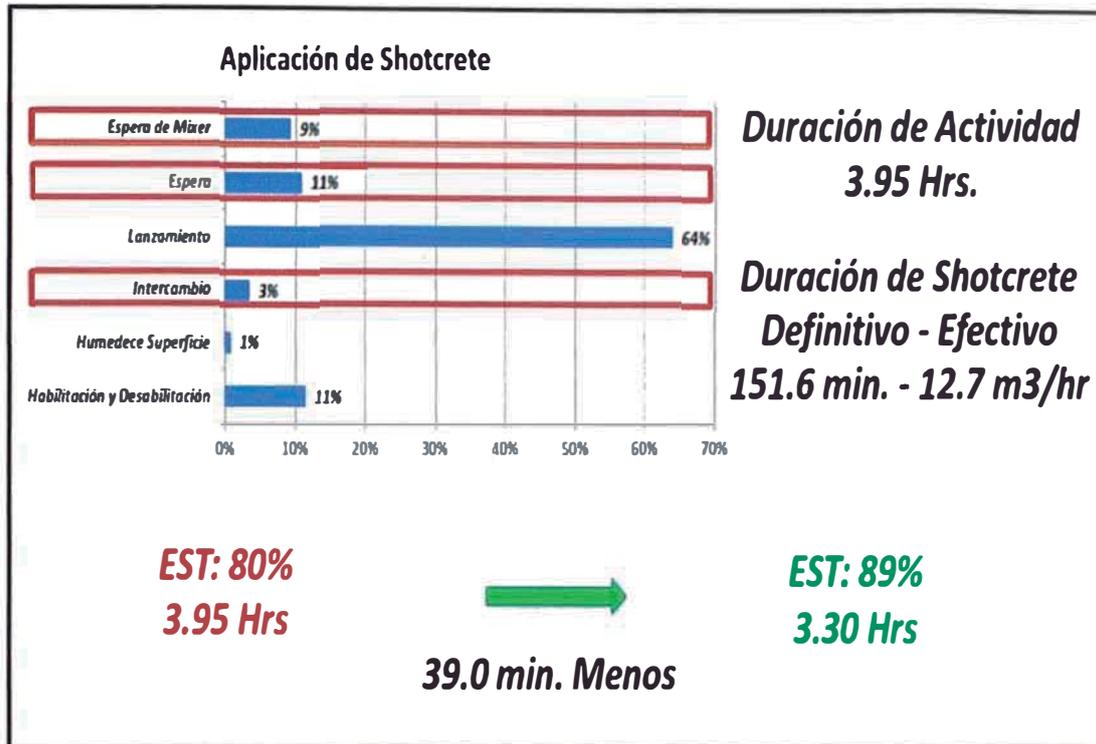


Figura N° 38.- Resultados de mejora en la aplicación de shotcrete.

Eliminación de rampa y nivelación:

El ciclo de eliminación y nivelación es una actividad que se venía realizando con un tiempo de 3.95 horas como duración de la actividad. Este periodo de tiempo estaba compuesto de espera, habilitación y deshabilitación, acomodo, nivelación, intercambio, carguío; todo esto como ejercicio del análisis de la carta balance de la actividad.

Con lo que se pudo determinar en campo, se pudo establecer la reducción de estas esperas al 0% con lo que la duración de la actividad de optimizo a 1.45 horas y con ello se optimizo la ejecución de la actividad y estableció una mejora de la Eficiencia del Sistema de Trabajo (EST).

La siguiente figura muestra el mapeo del proceso de la actividad y la forma de la optimización de la eficiencia.

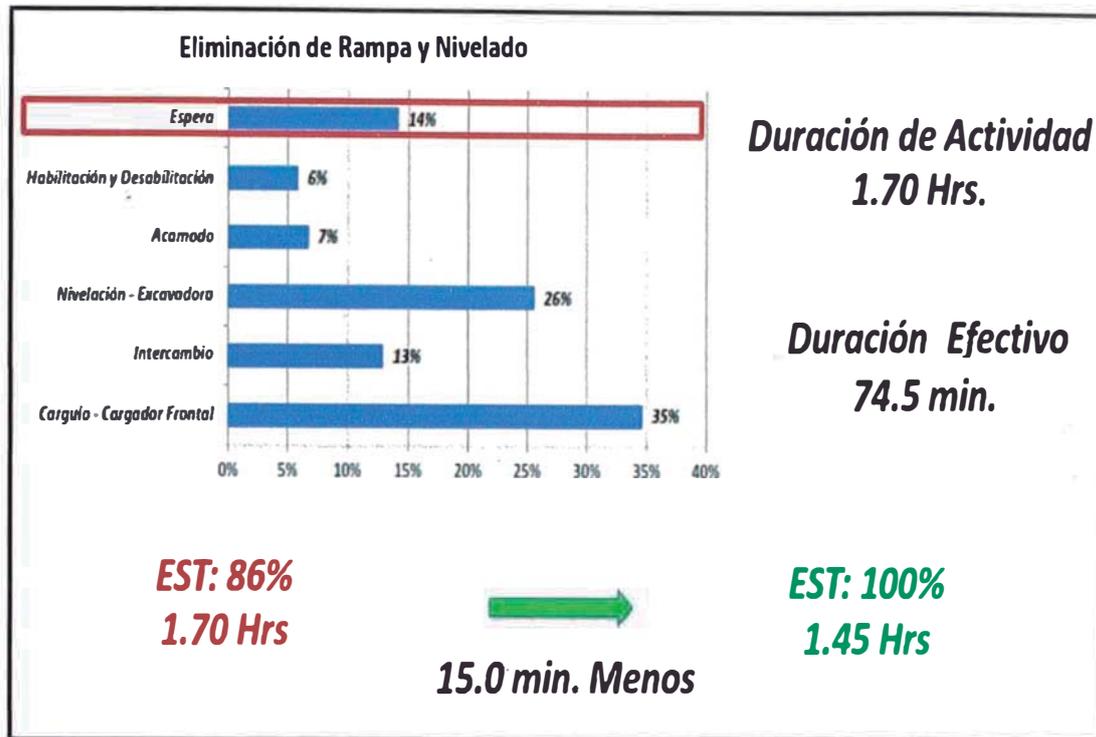


Figura N° 39.- Resultados de mejora en la eliminación de rampa y nivelado.

3.6 OPORTUNIDADES DE MEJORA.

El análisis de cada partida de trabajo permiten optimizar el ciclo de la producción y con ello tener una mejor gestión de la misma.

De nuestra toma de datos en campo, hemos tomado logrado optimizar el proceso de la duración del ciclo, y pasar de 24.02Hrs a 20.87Hrs.

Esto debido a que se han identificado en cada proceso de trabajo las esperas y se ha trabajado en reducirlas. Las esperas básicamente son trabajos no contributorios; estas esperas deben ser llevadas a porcentajes cercanos al 0% sino ser el 0%. Aparte de ello cada proceso de trabajo tiene actividades que contribuyen a la elaboración del productor final; sin embargo son solo trabajos contributorios y su uso debe ser mínimo, aquí si se debe encontrar el método de optimizar estos trabajos, que siempre serán necesarios, pero que deben ser de igual forma optimizados en su periodo de duración.

Cuadro N° 8.- Duración de los ciclos de producción.

Item	Descripción	Duración Inicial	Duración Final
1	Preforación de frente	1.11	1.07
2	Carguío y voladura - Ventilación	2.24	2.01
3	Eliminación de Material	2.40	2.21
4	Seccionamiento - Lombardi - Conformación de Rampa	1.77	1.72
5	Shotcrete Preventivo	1.69	1.26
6	Instalación de Cimbras	5.04	4.33
7	Instalación de Mallas	4.13	3.52
8	Shotcrete Definitivo	3.95	3.30
9	Eliminación de Rampa y Nivelación	1.70	1.45
	Ciclo del Túnel	24.03	20.87
	Factor de Espera	11.00%	1.00%

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

Con las oportunidades de mejora aplicada podemos ver que obtenemos también una mejora en el tema del costo. Si comparamos los ciclos actuales (momento de la evaluación) y el ciclo recomendado (luego de la aplicación de la mejora); podemos ver que hemos generado un ahorro tangible de USD 117,11.39 y también podemos generar un mayor avance optimizando el uso de nuestros tiempos en el trabajo utilizando los mismos recursos.

Cuadro N° 9.- Ciclo recomendado.

Ratios de Avance	Ciclo Actual	Ciclo Recomendado
Disparos por día (disp/día)	0.92	1.05
Días por semana (día/sem)	6.50	6.50
Semana por Mes (sem/mes)	4.34	4.34
Días obras por mes (día/mes)	28.21	28.21
Disparos por mes (disp/mes)	25.95	29.62
Avance por Disparo (m/disp)	2.40	2.40
Avance por Mes (m/disp)	62.29	71.09
Porcentaje de Mayor Avance (%)		14%

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

Cuadro N° 10.- Efecto de ahorro en los ciclos de producción.

Tiempo y Costo	Ciclo Actual	Ciclo Recomendado
Longitud Faltante (m)	460.00	460.00
Plazo de Ejecución (mes)	7.4	6.5
Entrega Antes de Plazo (mes)		0.88
Costo por Mano de Obra (USD/mes)		128,082.38
Costo de Ejecución (USD)	945,899.65	828,788.27
Ahorro (USD)		117,111.39

Fuente: Proyecto CH Cerro del Águila.

En el proceso de excavación se aprovecharon muchas oportunidades de mejora en función a los flujos de trabajos que se encontraron. Una recomendación que se estableció para mejorar el ciclo de excavación consistió mejorar la productividad de las excavadoras a través de la consideración de un acople rápido, que permita a la excavadora poder cambiar la cuchara por un martillo, y con ello dejar de contar con dos equipos en un determinado momento del ciclo de excavación.



Figura N° 40: Condiciones iniciales de las excavadoras.

La optimización en el uso de estos equipos se realizó mediante el acople rápido, el cual permite tener un mismo equipo trabajando con dos funciones.

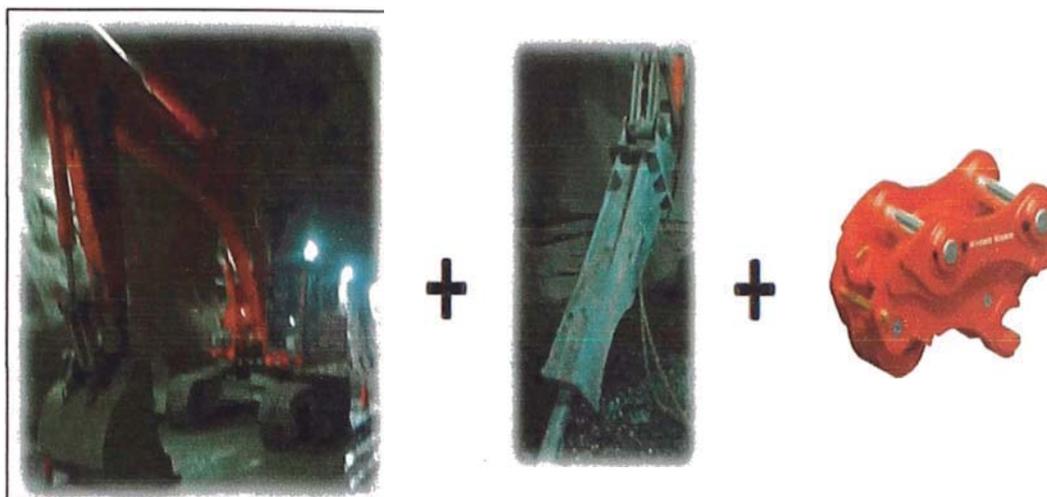


Figura N° 41: Excavadora DOOSAN con doble función gracias acople rápido.

El efecto que trajo este cambio tecnológico en el proceso de construcción del túnel en la etapa de excavación se puede reflejar mediante el siguiente cuadro.

Cuadro N° 11: Resultados en costo del cambio a acople mecánico.

Costos Por Excavadora	Excavadora 340 LCA	Excavadora 340 LCA
	Actual	Recomendado
Horas Minimas x Mes(hrs/mes) :	190	190
Costo de Operación y Posesión (\$/hrs) :	86.92	107.86
Costo de Producción Mensual (\$/mes) :	16,514.80	20,493.40

Costo Por Flota en Túnel de Conducción	Excavadora 340 LCA	Excavadora 340 LCA
	Actual	Recomendado
Meses Por Trabajar (Mes) :	7.4	7.4
Cantidad de Equipos (Und.) :	3	2
Costo Por Flota (\$/mes) :	366,628.56	303,302.32
Ahorro Por Flota (\$) :	63,326.24	
Costo de Inversión (\$) :	14,800.00	
Ahorro Total Por Flota (\$) :	48,526.24	
Ahorro Total Por Flota Mensual (\$/Mes) :	6,557.60	

Fuente: Área de Equipos/Área de Control de Proyectos – Proyecto Cerro del Águila.

Vemos en el siguiente cuadro que el número de excavadoras se ha reducido en una unidad, esto disminuye nuestros costos por flota de excavadoras que están presentes en el túnel de conducción. A esto se le agrega la inversión que se realizó para la compra de este acople y con ello establecer un escenario sobre el saldo para los siguientes meses.

El resultado final es que se presenta un ahorro de 48,526.24 dólares por la aplicación de esta recomendación.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- La aplicación del sistema de la gestión de la producción de la obra basados en los principios del lean construction en las obras del túnel de conducción, permitió mejorar nuestros procesos constructivos y también los flujos que se generan durante estos. Todas las actividades que se ejecutan tienen un costo y consumen tiempo, pero solo los procesos de conversión que se reflejan en cada metro lineal de avance del túnel añaden valor al producto final. Por esto, el mejoramiento en los flujos debe centrarse en la reducción o eliminación de los procesos que no añaden valor, mientras que los procesos de conversión se hacen ser más eficientes.

El resultado final es el diseño de un proceso eficiente que permite concretar los objetivos directos (problemas de plazo por cambio de condiciones iniciales) y optimizar los objetivos indirectos (mejora de en la reducción de costos por contratación de mano de obra y alquileres de equipos).

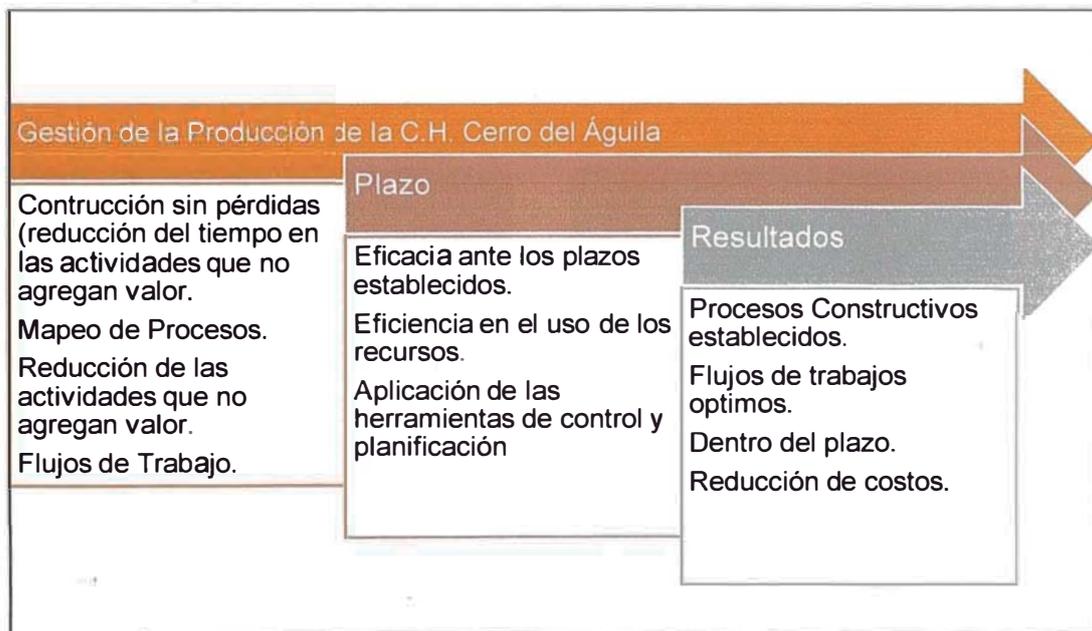


Figura N° 42: Esquema de la gestión de la producción aplicada.

- La gestión de la producción del túnel de conducción permitió establecer las fases, que conforman a los procesos, que a su vez estaban integrados de actividades, que componían la estructura de trabajo. Ello se refleja en los siguientes esquemas.



Figura N° 43: Fases y procesos del túnel de conducción.

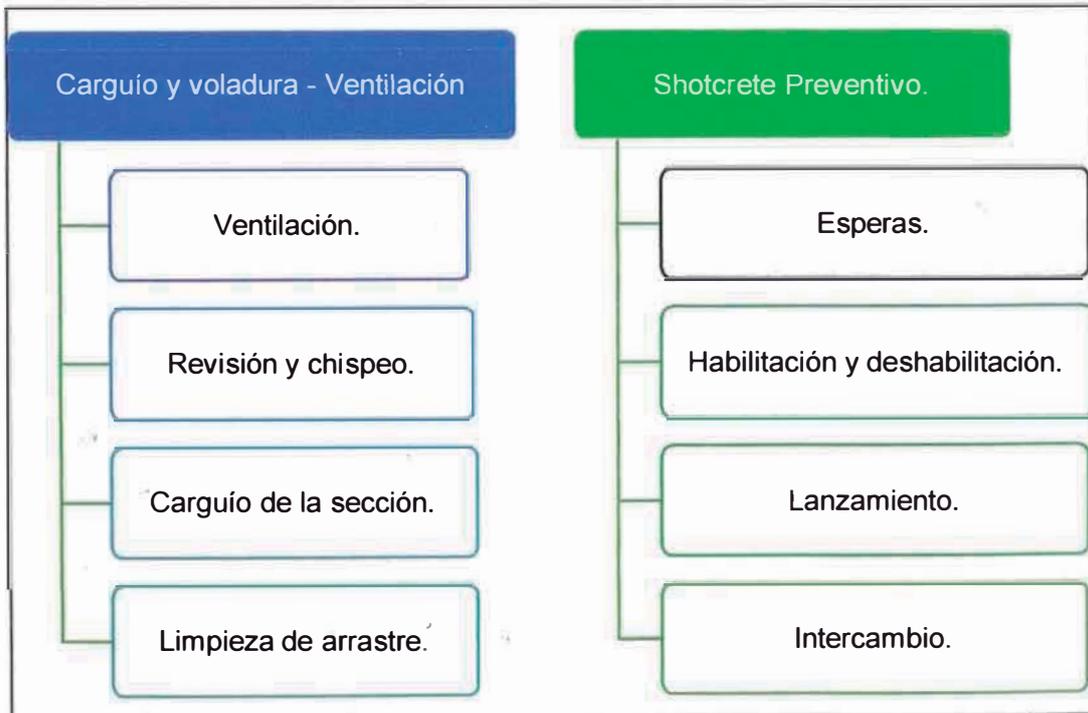


Figura N° 44: Procesos y actividades del túnel de conducción.

Este esfuerzo de replantear y esquematizar la estructura de trabajo se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control.

Bajo este esquema de control, donde se esquematiza las actividades realizadas es que se puede identificar las pérdidas en el flujo de trabajo (esperas, trabajos no contributorios y trabajos contributorios), lo cual permite eliminarlas o reducirlas en la práctica.

- Se ha integrado el siguiente sistema como eje de la gestión de la producción.

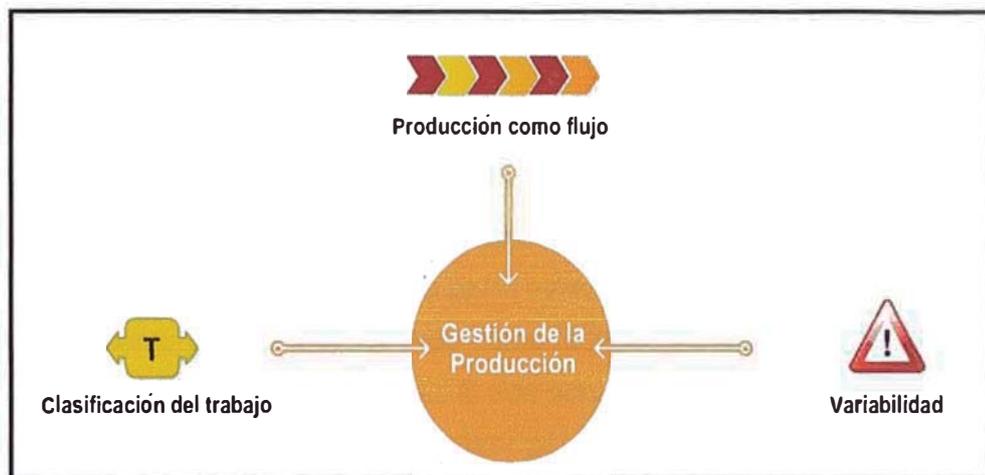


Figura N° 45.- Sistema de la gestión de la producción.

Estos son los tres aspectos involucrados en la gestión de la producción y así lo hemos determinado para el túnel de conducción que se encuentra en ejecución. Entender la producción como un flujo, fue diferenciar correctamente los procesos de trabajo que se tenían tanto para las fases de excavación y sostenimiento. Luego de tener la producción establecida como un flujo gracias al mapeo de procesos; se gestionó la mejora de cada proceso esto a través de la clasificación del trabajo de sus actividades y también se controló la variabilidad con las herramientas de planificación y control. Todo esto forma un sistema de gestión de la producción que tiene como resultado final la mejora continua debido a que este es un proceso cíclico donde se optimizará los ciclos de avance en el túnel.

4.2 RECOMENDACIONES.

- El objetivo final del presente Informe de Suficiencia es establecer un documento de referencia para futuros proyectos de similar ejecución. La aplicación de un sistema de gestión de la producción basado en los principios del Lean Construction, nos deja como entregables a usar: el mapeo de procesos constructivos, el análisis de los tiempos de las actividades, y la elaboración de herramientas de control y planeamiento.

Estos conceptos y herramientas aplicadas desde el inicio de los trabajos nos ayudaran a optimizar los rendimientos de avance y la eficacia en el consumo de recursos.

- El lanzamiento del shotcrete preventivo es una actividad donde el tiempo de las esperas son altos y a veces difíciles de reducir por ciclo; estamos evaluando dejar de realizar esta actividad y afianzar la siguiente que es instalación de cimbras. Para ello se ha evaluado en qué tipo de roca aplicar esta recomendación y se ha visto como factible aplicarlo en las rocas tipo B, C; dejando a las rocas tipo D, E aun con esta proceso constructivo por ejecutar. Considerando que el mayor porcentaje de roca encontrado son los de tipo B y C entonces nuestra recomendación impacta positivamente en la ejecución del túnel de conducción.
- De las opciones de mejora explicadas en el capítulo III, se recomienda aplicar el uso del acople rápido para realizar el cambio de cucharón a picotón utilizando solo una excavadora en alquiler,

BIBLIOGRAFÍA

- Ghio Virgilio, "Productividad en Obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica y Propuesta". Edición N°1. Pontificia Universidad Católica del Perú FONDO EDITORIAL. Lima. Perú. 2001
- Gonzales Vicente & Alarcón Luis Fernando, "Buffers de programación: Una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción". Pontificia Universidad Católica de Chile. 2006.
- Rodriguez Castillejo Walter & Valdez Caceres Doris, "Mejoramiento de la productividad en la construcción de obras con Lean Construction, Trenchless, CYCLONE, EZStrobe, BIM". Edición N°1. Editorial Culturabierta. Lima. Perú. 2012.

ANEXOS

1. Esquema general de obra.
2. Vista en planta y perfil longitudinal.
3. Secciones típicas del túnel de conducción.
4. Control de avance del túnel de conducción – Frentes independientes.
5. Control de avance – Túnel de conducción.
6. Control topográfico del túnel de conducción.
7. Control de ciclos.
8. Índice de productividad de equipos.
9. Índice de productividad de mano de obra.
10. Índice de productividad de materiales.