

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE MATERIALES
SUELTOS EN LA REGIÓN DE AREQUIPA.**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

José Alberto Murillo Perea

ASESOR: Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, Diciembre de 2012

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1.....	1
1.1 Introducción, antecedentes, ubicación del proyecto, características de la zona (hidrografía de la cuenca, topografía del terreno).....	1
1.1.1 Introducción y antecedentes	1
1.1.2 Ubicación y accesos	4
1.1.3 Topografía.....	5
1.1.4 Hidrología.....	6
1.2 Características generales de la presa, del aliviadero Morning glory, del aliviadero de emergencia, del túnel de derivación, del puente de acceso.....	7
1.2.1 PRESA DE TIERRA Y OBRAS CONEXAS	7
1.2.2 PRESA DERIVADORA Y CANAL DE TRASVASE RÍO POROTO.....	12
CAPITULO 2.....	13
2.1 Organización de obra, accesos, instalaciones, obras provisionales, mano de obra de la zona y fuentes de abastecimiento.	13
2.1.1 Organización de obra.....	13
2.1.2 Accesos.....	14
2.1.3 Instalaciones y Obras provisionales.....	14
2.1.4 Mano de obra de la zona.....	15
2.1.5 Fuentes de abastecimiento	17
2.2 Operaciones en las canteras, Equipo necesario para la Explotación de las Canteras, Cálculo de Volúmenes y Transporte.....	18
2.2.1 Operaciones en las canteras.....	18
2.2.2 Calculo de Volúmenes y Transporte	20
2.2.3 Equipo necesario para la Explotación de las Canteras.....	21
CAPITULO 3.....	22
3.1 Construcción de la presa indicando sus procesos y etapas.....	22
3.1.1 Desvió del río:	22
3.1.2 Primera etapa.....	22
3.1.3 Segunda etapa.....	24
3.1.4 Tercera etapa.....	28
3.1.5 Cuarta etapa, Quinta etapa y Sexta etapa:.....	32
CAPITULO 4.....	43
4.1 Planeamiento de obra: Marco teórico	43

4.1.1 Justo a tiempo (just in time)	43
4.1.2 Construcción sin pérdidas	44
4.1.3 Ultimo planificador (last planner).....	46
4.1.3.1 Tipos de Programación.....	46
4.1.3.2 Trenes de Trabajo.....	48
4.1.3.3 Look ahead planning	49
4.1.3.4 Teoría de las restricciones (Theory of constraints)	49
CAPITULO 5	51
5.1 Estudio de programación:	51
5.1.1 Descripción de la metodología de programación de las partidas analizadas	51
5.2 Programación de la obra	53
5.2.1 Movimiento de tierras:.....	53
5.2.2 Para la partida de Relleno.....	56
5.2.2.1 Para las Subpartidas de Capa Material Impermeable-Base de Presa, Delantal Material Impermeable y su Uña Final y el Filtro Sobre el Delantal..	56
5.2.2.2 Relleno Cuerpo de Presa:	57
5.3 Conclusiones y Recomendaciones	68
Bibliografía:	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Topografía	5
Figura 2: Precipitaciones medias mensuales subcuencas Polobaya y Poroto	7
Figura 3 : Construcción Etapa 1	24
Figura 4: Excavadora Caterpillar línea 330.....	26
Figura 5: Construcción Etapa 2	28
Figura 6: Proceso de jet-grouting	30
Figura 7: Construcción Etapa 3	31
Figura 8: Vista del prisma de enrocado y el acceso lateral para el tractor Vista del prisma de enrocado y el acceso lateral para el tractor.	32
Figura 9: Proceso de compactado de capas en la presa	34
Figura 10: Ranuras para prevenir la falla por corte.	34
Figura 11: Extendido, emparejado y compactado del material filtro aguas arriba....	35
Figura 12: Colocación de la geomembrana con la ayuda de la excavadora, aguas arriba	37
Figura 13: Geomembrana y protección totalmente extendidas aguas arriba.....	37
Figura 14: Colocación del enrocado aguas arriba	38
Figura 15: Colocación del enrocado de protección aguas abajo.....	39
Figura 16: Construcción Etapa 4	40
Figura 17: Construcción Etapa 5	41
Figura 18: Construcción Etapa 6	42
Figura 19: División Para el Ejemplo de Tren de Trabajo	59
Figura 20: Sin Tren de Trabajo (Instalación Geomembrana).....	63
Figura 21: Con Tren de Trabajo (Instalación Geomembrana)	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distancias de Arequipa a diferentes zonas del Proyecto 4
Tabla 2: Parámetros del Componente de Obra Presa Yanaorco-Paltaorco y Obras
Conexas:..... 8
Tabla 3: Sin Tren de Trabajo (Relleno Cuerpo Presa)..... 59
Tabla 4: Con Tren de Trabajo (Relleno Cuerpo Presa) 60





CAPITULO 1.

1.1 Introducción, antecedentes, ubicación del proyecto, características de la zona (hidrografía de la cuenca, topografía del terreno).

1.1.1 Introducción y antecedentes

Para frenar el constante deterioro socioeconómico que presentan las ciudades de Quequeña, Yarabamba y Socabaya, producto de la baja productividad agropecuaria que se registra debido al déficit de agua que afecta estas zonas, el gobierno central y regional ha realizado diversos estudios con el objetivo de aumentar la oferta hídrica destinada al riego, incrementar el área de terreno agrícola en los sectores indicados de la subcuenca del río Yarabamba de la Cuenca Oriental del río Chili y con esto afianzar el sector agrícola. Según el Estudio Definitivo de la Presa San José de Uzuña, elaborado por AUTODEMA – INADE (2000), se tenía prevista la construcción de una presa de tierra tipo CFRD de 26.5 m de altura para conformar un embalse de aproximadamente 10 MMC de capacidad. Dependiendo entonces de la oferta hídrica disponible del río Polobaya, se evaluaría la necesidad de incrementarla mediante una obra de trasvase de agua desde el río Pichu Pichu.

En el año 2006 se aprueban los estudios a nivel de perfil y pre factibilidad con fechas del 16 de enero y 3 de marzo, respectivamente. Asimismo, se elaboraron los expedientes técnicos de obra para ejecutarlos por etapas. Para la elaboración de estos se utilizó la información técnica de estudios existentes, principalmente de AUTODEMA – INADE (2000), con lo que se adopto el tipo de presa de tierra con núcleo central impermeable y se modifico las principales obras conexas, así como el esquema hidráulico. A su vez, se realizaron investigaciones geotécnicas complementarias para verificar que el tipo de presa iba a funcionar.

Según el Estudio de Pre factibilidad (2006), la alternativa seleccionada planteaba la construcción de una presa de tierra con núcleo central impermeable, con capacidad de almacenamiento del embalse de 1'850,000

m³ (1.85 MMC) y sus obras conexas. Este tipo de presa tiene el inconveniente de sufrir una reducción de la altura efectiva de la presa por la profundización del núcleo impermeable hasta llegar a la zona de pura roca (aproximadamente 5 m). Además presenta menor estabilidad sísmica frente a la presa de tipo CFRD, la cual es sísmicamente más estable y apropiada para una construcción por etapas.

Habiéndose reformulado el expediente técnico inicial para aumentar la altura de la presa a 20 m, a fin de incrementar su capacidad de almacenamiento, se planificó la construcción de la obra en dos etapas. Este expediente, replanteado en el 2006, manifiesta que se debió ejecutar en las siguientes etapas:

P-1 (I Etapa) : S/. 2'397,174.17 (túnel de derivación, estructura de salida, canal de entrega)

P-2 (II Etapa) : S/. 9'621,413.36 (presa 20 m altura, torre de aliviadero de 23 m, obra de desvío)

Como resultado de la evaluación técnica y económica del proyecto, la revisión de las obras por parte de las instituciones competentes y los órganos de control, la ejecución de las obras de la II Etapa del Proyecto fue paralizada (en el año 2006) por la nueva administración del Gobierno Regional de Arequipa, hasta que se corrijan las deficiencias y limitaciones del proyecto ejecutado. Sus técnicos verificaron que la altura de la presa (20 m) a construirse en la II Etapa, no aseguraría el cumplimiento de las metas y objetivos del Proyecto, a menos que se garantice un volumen de almacenamiento del embalse de aproximadamente 10 MMC. La conformación de tal volumen demanda el aumento de la altura efectiva de la presa a 26.5 m y el incremento de la oferta hídrica de la subcuenca Polobaya mediante las obras de trasvase de agua desde el río Poroto o el río Pichu Pichu.

En el marco del mejoramiento y optimización del esquema hidráulico del proyecto que permita satisfacer la demanda hídrica de aproximadamente 10 MMC a través de una reestructuración de las cédulas de cultivo rentables, con menos requerimientos de agua y orientados a la agroexportación. Para tal fin, se consideró el aumento de la oferta hídrica de la subcuenca Polobaya mediante obras de trasvase desde el río Poroto, así como la optimización del

dimensionamiento y diseño de la presa de tierra y sus obras conexas faltantes.

En el Estudio de Pre inversión para Reevaluación del Proyecto “Construcción de Presa de Tierra entre los Cerros Yanaorco y Paltaorco, Polobaya - Arequipa”, se evaluaron tres alternativas de presa dentro de un esquema hidráulico optimizado del proyecto, que asegure el logro de sus metas con indicadores de rentabilidad positivos, así como la justificación técnica y económica para la continuación de su construcción de tierra entre los cerros Yanaorco y Paltaorco. Las alternativas evaluadas fueron las siguientes:

Alternativa N° 1: Construcción de una presa de tierra de 26.5 m de altura compuesta de una pantalla de material de tierra impermeable en talud aguas arriba, uña de cimentación (5 m de profundidad mínima) del mismo material impermeable, pantalla de jet grouting y/o inyecciones de impermeabilización, delantal o capa de material de tierra impermeable de 1m a 2 m de espesor y 50 m de longitud.

Alternativa N° 2: Construcción de una presa CFRD de 26.5 m de altura con pantalla de concreto en talud aguas arriba, plinto y pantalla de concreto de 5 m de profundidad, pantalla de jet grouting y/o inyecciones de impermeabilización, y delantal de material de tierra impermeable de 1m a 2 m de espesor y 50 m de longitud. Esta alternativa es análoga a la presa CFRD contenida en el Estudio Definitivo de la Presa San José de Uzuña, elaborada por AUTODEMA-INADE (2000).

Alternativa N° 3: Construcción de una presa de tierra de 31.5 m de altura con núcleo central de material de tierra impermeable con pantalla de inyecciones de impermeabilización. Con la diferencia de la mayor altura de presa, esta alternativa conserva los mismos elementos estructurales y características de cimentación de la presa que estuvo en proceso inicial de construcción, y que originó la presente reformulación del Expediente Técnico de Obra.

La alternativa N° 2 fue descartada por tener una pantalla de concreto, ya que su precio aumentaba considerablemente y el proceso constructivo contenía mayor dificultad, por ende se tendría un mayor plazo para su construcción.

La alternativa N° 3 fue descartada por su altura, esto por un lado aumentaba el precio de la realización de la obra y por el otro iba a contener más cantidad de agua de la necesaria para la zona.

De esta forma la alternativa N° 1 fue seleccionada como la más óptima por ofrecer mayores ventajas técnicas y mejores indicadores de rentabilidad con respecto a las otras dos alternativas.

1.1.2 Ubicación y accesos

El Proyecto de la presa de tierra se ubica entre los cerros Yanaorco, Paltaorco y Humpuco, en la confluencia de los ríos Totorani y Uzuña que forman el río Polobaya, en el sector de Pampa de Ccoragache del distrito de Polobaya, provincia y región de Arequipa, a una altitud de 3,223.5 msnm y dentro de las siguientes coordenadas UTM: 8´165,500N y 251,700E.

Las áreas de mejoramiento de riego están situadas entre altitudes de 2300 msnm hasta 2,600 msnm, ubicados principalmente en los distritos Polobaya, Yarabamba, Quequeña, Socabaya, provincia y región Arequipa.

El acceso al sitio de la presa Yanaorco y Paltaorco desde la ciudad de Arequipa, se realiza por una trocha carrozable que se comunica con la localidad de Puquina (pasando previamente por Mollebaya y Pocsi) hasta aproximadamente el km 45 de esta vía. Desde donde, existen accesos auxiliares hasta la zona de la presa. En la mayoría de los casos, el acceso a la zona es por trochas carrozables.

En los Planos N° PT-G-01 y N° PT-G-02, se muestra la ubicación general del Proyecto, y las cuencas de la represa Yanaorco-Paltaorco y la derivación Poroto.

Tabla 1: Distancias de Arequipa a diferentes zonas del Proyecto

Lugar	Distancia
Paltaorco y Yanaorco	56 km
Polobaya	45 km
Susihuaya	43 km
Uzuña	44 km
Quequeña	45 km
Yarabamba	23 km
Socabaya	15 km

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

1.1.3 Topografía

Como toda zona en la que se hace una presa, su ubicación se encuentra en la parte más accidentada para poder aprovechar al máximo posible el terreno natural por ser el más confiable. Este sector está conformado en su mayoría por cerros con mayor o menor altura sin exceder los 150 m, con ciertas zonas llanas.

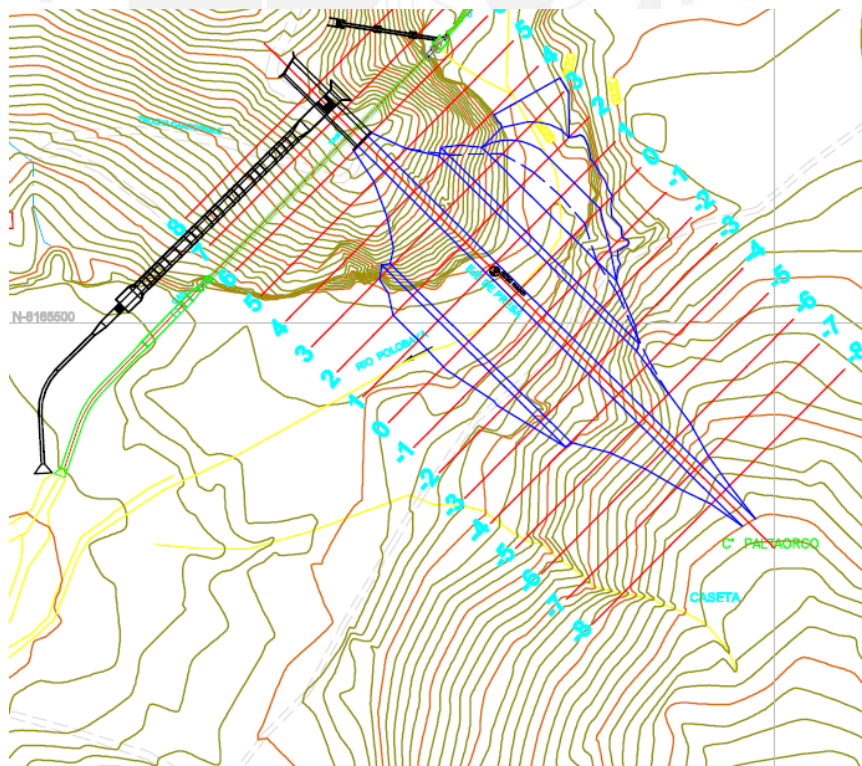


Figura 1: Topografía

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

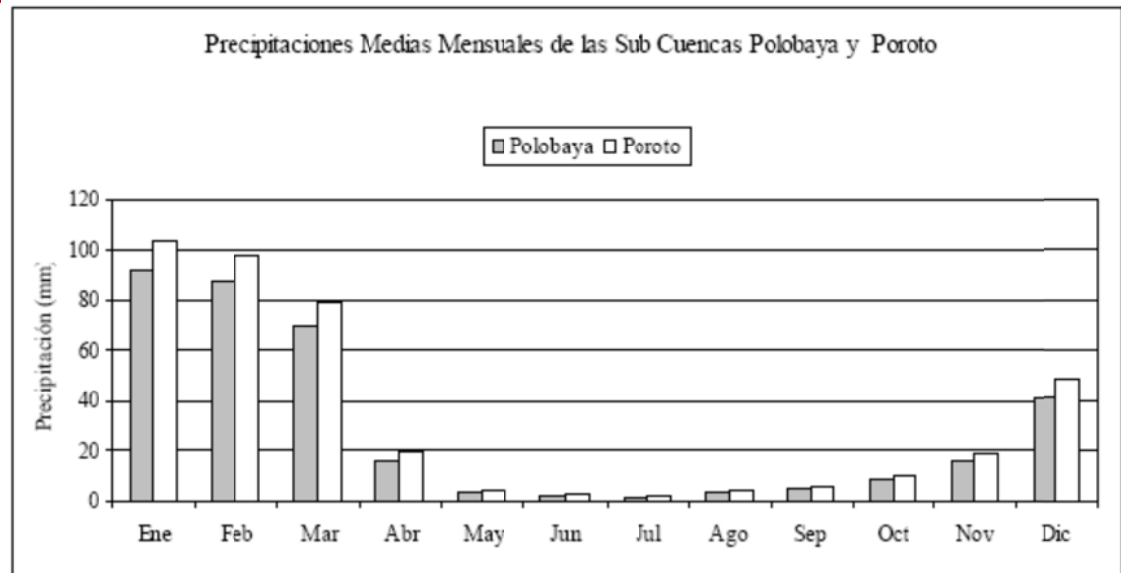
1.1.4 Hidrología

El estudio hidrológico tiene el propósito de determinar la oferta hídrica de la subcuenca Polobaya y de la cuenca colectora del río Poroto, del cual se efectuará el trasvase de agua hacia el embalse Yanaorco-Paltaorco durante el período de lluvias, a fin de complementar su oferta hídrica y cubrir la capacidad de almacenamiento del embalse de 9.5 MMC.

Los análisis hidrológicos han sido elaborados utilizando datos y resultados del Estudio Hidrológico del Embalse San José de Uzuña de la Gerencia Regional de Infraestructura (2005). Se utilizaron los datos hidrológicos correspondientes a la oferta hídrica, evaporación, pérdidas de agua, valores de caudal ecológico y supuestas reglas de la operación del embalse, así como su ubicación, forma y dimensiones que permitió la construcción de sus curvas Altitud-Área-Volumen. Las demandas agrícolas, que se deben satisfacer con caudales regulados del río Polobaya y las aguas trasvasadas del río Poroto mediante el embalse Yanaorco-Paltaorco, han sido analizadas considerando el mejoramiento de la oferta hídrica de las zonas agrícolas beneficiadas por el proyecto.

Las precipitaciones medias anuales de las subcuencas Polobaya y Poroto tienen un promedio de 346.2 mm y 394.6 mm y las precipitaciones al 75% de persistencia son de 263.9 mm y 300.9 mm, respectivamente. Las más importantes se presentan de diciembre a marzo, siendo meses de transición noviembre y abril, además del periodo de estiaje de mayo a octubre. En el periodo húmedo estas representan el 83% del valor anual.

Las precipitaciones anuales siguen las tendencias del régimen pluviométrico regional, habiéndose logrado reproducir los años característicos más secos, como lo fueron los años 1983 y 1992. El análisis de esta información es consistente con la precipitación regional y es representativa del régimen pluviométrico de las subcuencas Polobaya y Poroto. En la Figura N° 1.1 se presenta las precipitaciones medias mensuales de las subcuencas estudiadas para el periodo 1964-2004.



Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

Figura 2: Precipitaciones medias mensuales subcuencas Polobaya y Poroto hasta el 2005

1.2 Características generales de la presa, del aliviadero Morning glory, del aliviadero de emergencia, del túnel de derivación, del puente de acceso.

1.2.1 PRESA DE TIERRA Y OBRAS CONEXAS

- a) Construcción de una presa de tierra de 26.5 m de altura con una pantalla de material de suelo impermeable en el talud aguas arriba, conformando un embalse con capacidad de almacenamiento de 9.5 MMC. La pantalla impermeable en el talud agua arriba tiene material de suelo impermeable (suelo GC); el dentellón ó uña de cimentación, ubicado en el pie del talud aguas arriba, es del mismo material y una profundidad mínima de 5 m; el delantal de 3 m de espesor y 50 m de longitud será también construido por este material. Tiene además una capa de 3 m de espesor del mismo material impermeable en la base de cimentación de la presa. Con el propósito de reducir las filtraciones en la fundación de la presa, cuenta con perforaciones e inyecciones de impermeabilización por debajo de la base de concreto de la uña de cimentación, a fin de conformar una pantalla impermeable con jet grouting y/o inyecciones de cemento, según las condiciones geológicas y geotécnicas de la fundación del lecho fluvial

- y de los estribos de la presa. En el pie del talud aguas abajo se construirá un prisma de enrocado 10 m de altura, que estabilizará al talud de aguas abajo y funcionará como de drenaje de las aguas de filtración.
- b) Construcción de la estructura de aliviadero en torre hasta la cota 3250 msnm, acondicionando una caseta de maniobras de los sistemas de izaje de las compuertas de las ventanas de captación.
 - c) Construcción del puente de acceso a la caseta de operación del aliviadero en torre.
 - d) Construcción del aliviadero emergencia de cresta libre no controlada, canal con caídas verticales, poza disipadora y canal de entrega al cauce natural.
 - e) Estabilización y protección contra las filtraciones del talud del estribo derecho de la presa.

Tabla 2: Parámetros del Componente de Obra Presa Yanaorco-Paltaorco y Obras Conexas:

Subcomponentes	Parámetros del Componente de Obra Presa Yanaorco-Paltaorco y Obras Conexas
Embalse	<p><i>Área cuenca regulada:</i> 58.33 km²</p> <p><i>Volumen total:</i> 9.5 MMC</p> <p><i>Volumen útil:</i> 9.29 MMC</p> <p><i>Volumen muerto:</i> 0.21 MMC</p> <p><i>Area del espejo de agua:</i> 1.134 km²</p> <p><i>Cota máxima:</i> 3,248 msnm</p> <p><i>Caudal promedio anual del río Polobaya:</i> 0.292 m³/s (9.1 MMC)</p> <p><i>Caudal ecológico del río Polobaya:</i> 0.03 m³/s = 30 lt/seg</p> <p><i>Caudal promedio anual del río Poroto:</i> 0.151 m³/s (4.73 MMC)</p> <p><i>Caudal ecológico del río Poroto:</i> 0.015 m³/s = 15 lt/seg</p> <p><i>Caudal máximo de trasvase del río Poroto a Polobaya:</i> 3 m³/s (trasvase sólo en períodos de lluvias)</p>

<p>Presa</p>	<p><i>Tipo:</i> Tierra con pantalla impermeable en talud aguas arriba.</p> <p><i>Altura:</i> 26.27 m (eje) y 26.01 m (pie talud)</p> <p><i>Corona:</i> Ancho 8 m, longitud total 360.7 m, longitud de presa de tierra 301.8 m y longitud de dique 58.9 m. Cota corona 3,250 msnm, (en topografía de cotas absolutas).</p> <p><i>Talud aguas arriba:</i> 2H:1V</p> <p><i>Talud aguas abajo:</i> 2H:1V</p> <p><i>Ancho de berma en talud aguas abajo:</i> 4 m</p> <p><i>Ancho de berma menor en talud aguas arriba:</i> 4 m</p> <p><i>Ancho de berma mayor en talud aguas arriba:</i> 22 m</p> <p><i>Longitud de la presa en la base de cimentación:</i> 143 m</p> <p><i>Volumen:</i> 247,132 m³</p>
<p>Aliviadero en Torre</p>	<p><i>Tipo:</i> Morning glory</p> <p><i>Torre:</i> 26.5 m de altura, estructura aporticada de concreto armado de placas y columnas, 1 m de profundidad de sobrecimentación.</p> <p><i>Vigas:</i> 0.5 m x 0.5 m</p> <p><i>Columnas:</i> 0.5 m x 0.5 m</p> <p><i>Espesor de placa:</i> 0.5 m</p> <p><i>Área de plataforma superior:</i> 46.24 m² (6.8m x 6.8 m)</p> <p><i>Área de caseta de operación:</i> 40.96 m² (6.4 m x 6.4 m)</p> <p><i>Altura de caseta:</i> 2.5 m</p>
<p>Puente de acceso</p>	<p><i>Longitud total:</i> 60.31 m</p> <p><i>Longitud de estribo:</i> 6.81 m</p> <p><i>Longitud de puente de concreto:</i> 53.5 m</p> <p><i>Luces de puente:</i> 20.5 m, 20.0 m, 13.98 m</p> <p><i>Sección del tablero:</i> 2 vigas de 0.45 m x 1.20 m y losa de 0.15 m x 2.0 m</p> <p><i>Material:</i> Concreto armado 280 kg/cm²</p> <p><i>Altura Columna menor:</i> 9.65 m</p> <p><i>Altura Columna mayor:</i> 17.65 m</p> <p><i>Sección de columna:</i> 1.5 m x 0.6 m (2 x 0.60 m x 0.40 m y 0.60 m x</p>

	<p>0.40 m)</p> <p><i>Material:</i> Concreto armado 280 kg/cm²</p>
Aliviadero de emergencia	<p><i>Descarga:</i> 5 m³/s</p> <p><i>Longitud vertedero:</i> 8 m</p> <p><i>Longitud total estructura del aliviadero:</i> 273.62 m</p> <p><i>Longitud del caídas escalonadas:</i> 154.54 m</p> <p>Sección trapezoidal, b=4 m, talud 1H:1V, altura=1.5 m (Piedra ϕ0.15 m embebido en concreto 175 kg/cm², e=0.05m)</p> <p><i>Longitud de poza:</i> 13 m</p> <p>Ancho =10.6 m, talud 1H:1V, Piedra ϕ 0.40 m embebido en concreto 210 kg/cm², e=0.10m (base), Piedra ϕ 0.30 m embebido en concreto 210 kg/cm², e=0.10m (talud).</p> <p><i>Longitud de canal de evacuación:</i> 106.08 m</p> <p>Sección rectangular, b=1.6 m, H= 1.20, e=0.15 m (Concreto 175 kg/cm²)</p>
Túnel de Derivación	<p><i>Longitud túnel:</i> 175.80 m</p> <p><i>Sección baúl excavada:</i> 2.40 m x 2.20 m</p> <p><i>Sección baúl revestida:</i> 1.80 m x 1.60 m</p> <p><i>Sostenimiento:</i> Shotcrete 5 cm con fibra de acero, pernos anclaje 1"x2.10m, cimbras y planchas de acero.</p> <p><i>Revestimiento túnel:</i> 0.30 m concreto armado 280 kg/cm²</p> <p><i>Pendiente:</i> 0.02 m/m</p> <p><i>Cota de fondo al inicio (torre):</i> 3,227 msnm</p> <p><i>Cota de fondo al final:</i> 3,223.46 msnm</p>

	<p>Estructura de salida</p>	<p><i>Longitud de embudo: 14 m</i></p> <p><i>Pendientes: de 0.02 a 0.325</i></p> <p><i>Cota de fondo: 3,219.98 msnm</i></p> <p><i>Longitud y ancho del colchón: 9.6 m y 4.4 m</i></p> <p><i>Cota de fondo en colchón: 3,219.98 msnm</i></p> <p><i>Distancia entre dados disipadores: 3.64 m</i></p> <p><i>Longitud de grada de umbral: 3.40 m</i></p> <p><i>Cota de fondo en umbral: 3,221.17 msnm</i></p> <p><i>Muros y piso de la estructura: altura 3.48 m (espesor 0.30 m y 0.40 m) y ancho de base 6 m (espesor 0.30 m), de concreto armado 280 kg/cm²</i></p> <p><i>Longitud juntas de construcción: cada 9 m con water stop 6"</i></p>
	<p>Canal de Entrega</p>	<p><i>Longitud: 128.13 m</i></p> <p><i>Pendientes: de 0.025</i></p> <p><i>Cota de fondo inicio: 3,221.17 msnm</i></p> <p><i>Muros y piso del canal: altura 1 m y ancho (de 4.40 m a 3.50 m), espesor 0.20 m, de mampostería de piedra</i></p>
<p>Impermeabilización de estribo derecho de la presa</p>	<p><i>Travesaños de concreto ciclópeo 140 kg/cm²: 247.62 m³</i></p> <p><i>Mampostería de piedra: 973.77 m³</i></p> <p><i>Capa de material impermeable: 1,718.49 m³</i></p> <p><i>Capa de filtro: 1,145.66 m³</i></p> <p><i>Capa de grava y piedra seleccionada: 9,776.17 m³</i></p>	
<p>Varios</p>	<p><i>Diques de retención de sedimentos:</i> 01 en río Totorani y 01 en río Uzuña.</p> <p><i>Talud aguas arriba: 2H:1V</i></p> <p><i>Talud aguas abajo: 1H:1V</i></p> <p><i>Ancho aliviadero central: 11 m (en promedio)</i></p> <p><i>Material: Enrocado de piedra con diámetros entre 0.30 m y 1.0 m</i></p> <p><i>Calzadura del canal de desvío y torre aliviadero:</i> 15 ml</p>	

1.2.2 PRESA DERIVADORA Y CANAL DE TRASVASE RÍO POROTO

- a) Construcción de la presa derivadora en el río Poroto de 5.21 m de altura, 5.30 m de ancho en la cimentación, y longitud de la cresta del aliviadero de 19 m de longitud. Esta obra de captación y derivación ha sido diseñada para captar las aguas de avenidas del río Poroto, durante los meses de diciembre a abril, a fin de trasvasarlo hasta una quebrada tributaria del embalse Yanaorco-Paltaorco. La captación de agua durante los meses de verano, no perjudicará los derechos de aguas existentes en las captaciones aguas abajo del río Poroto.
- b) Construcción del canal de trasvase de 3.66 km de longitud y de 3 m³/s de capacidad de conducción.
- c) Construcción de las obras de arte y de la entrega de agua a la quebrada tributaria de la represa Yanaorco y Paltaorco.

La construcción de estos componentes de obra, asegurará la capacidad de almacenamiento del embalse de 9.5 MMC, y la disponibilidad de la oferta hídrica para utilizar eficientemente el embalse en toda su capacidad logrando transformar el actual esquema hidráulico de reducida oferta hídrica en un esquema hidráulico eficiente que garantice el logro de los beneficios del proyecto, y contribuya directamente en el aumento de la producción agrícola en el ámbito del proyecto.

CAPITULO 2.

2.1 Organización de obra, accesos, instalaciones, obras provisionales, mano de obra de la zona y fuentes de abastecimiento.

2.1.1 Organización de obra

La obra se ejecutará en un plazo de 14 meses o 420 días calendario, por lo que es importante dividir los trabajos para tener claros los objetivos de la construcción. Es importante destacar que mientras se esté construyendo la presa, un canal de desvío conducirá las aguas del río Polobaya hacia aguas abajo del río mediante un túnel de descarga.

La actividad crítica es la ejecución de la pantalla impermeable con jet grouting en el cauce del río y los estribos de la presa. Cualquier demora en esta etapa causara un retraso en la entrega de la obra que será difícil de recuperar.

La construcción de la presa será ejecutada en siete etapas.

- Primera etapa: Pantalla de impermeabilización en el cauce y excavación de las uñas en márgenes de la presa
- Segunda etapa: Excavación del dentellón, delantal y base de la presa, y su relleno
- Tercera etapa: Pantalla de impermeabilización en parte inferior de márgenes y relleno de la uña de la presa en el cauce
- Cuarta etapa: Pantalla de impermeabilización en margen derecha superior, prisma de enrocado y relleno parcial del cuerpo de la presa
- Quinta etapa: Pantalla de impermeabilización en margen izquierda superior y relleno parcial del cuerpo de la presa
- Sexta etapa: Relleno total del cuerpo de la presa, taludes de protección, afirmado y muros de la corona de la presa
- Séptima etapa: Construcción del dique de concreto y captación del aliviadero de emergencia

2.1.2 Accesos

Todos los accesos y vías en esta construcción son de trochas carrozables, algunas de las cuales tuvieron que ser preparadas previamente con motoniveladoras y maquinarias pesadas para lograr que camionetas 4x4 se movilicen sin ningún problema. También se utilizan rutas previamente existentes, los cuales han sido hechos por las comunidades, lo que a su vez permite unir los nuevos accesos con los antiguos. Las vías y los accesos conectan la misma zona de las obras para poder agilizar la movilización del material y el transporte del personal.

Otros accesos eran los que conectaban las canteras, de los materiales granulares y finos, con la propia presa. De igual manera estas son trochas carrozables elaborados especialmente para la construcción. Por último estos conectan la presa con los pueblos más cercanos como las comunidades de Polobaya, Susihuaya, Uzuña y Quequeña, que a su vez se unen a las vías que se conectan con Arequipa, lugar de donde más recursos se obtienen.

2.1.3 Instalaciones y Obras provisionales

Para la construcción de la presa se realizan varias obras provisionales e instalaciones que se tienen que incorporar, las que serán retiradas a su culminación. Entre estas tenemos:

- Oficinas

Lugares destinados para que el ingeniero residente, los ingenieros de seguridad, los de medio ambiente, los de calidad y todos los asistentes tengan un lugar donde desempeñar sus labores.

- Almacenes

Espacios donde se puedan almacenar los materiales, los cuales están debidamente acondicionados para que no se deterioren ni se reduzca su calidad.

Un almacén para los combustibles, el cual se encuentra debidamente señalado dado el peligro que representan tanto para las personas como para el medio ambiente.

Un segundo almacén para los agregados que se traen de las canteras, espaciados para que las maquinas tengan la libertad de dejar el material.

Un tercer almacén para el acero, separado del suelo para que no exista una corrosión entre ellos y con esto brindar un espacio para que los encargados del fierro puedan prepararlo para su colocación.

Un cuarto almacén para herramientas, EPP's y materiales pequeños del cual se puedan distribuir al personal y mantener un control adecuado.

Un quinto almacén de cemento predispuesto para que este no se deteriore.

Un último almacén para la madera que se utiliza en la construcción, para los encofrados u otros fines.

- Estacionamientos

Debidamente señalizados para los vehículos que se utilizan y así no crear un problema de movilidad en la zona.

- Baños

Un numero apropiado de baños portátiles para el personal y que tenga su debido mantenimiento y también estén divididos para hombres y mujeres para así mantener un higiene correcto.

- Instalaciones

Acondicionar señalizaciones en toda el área de trabajo para que ninguna persona externar este expuesta a algún peligro. De igual forma señalizaciones dentro de la construcción para que los propios trabajadores estén bien informados y no sufren ningún incidente.

2.1.4 Mano de obra de la zona

Para la obra fue obligatorio contratar un de 35% de personal de la zona en la que se va a realizar la construcción. Esta determinación trae consigo tanto ventajas como desventajas las cuales se detallan a continuación:

Desventajas

Es muy probable que el personal no esté capacitado para la ejecución de los trabajos, no cuenten con algún tipo de entrenamiento lo cual los conlleve a cometer una gran cantidad de errores. El proceso de aprendizaje dependiendo de la persona, será rápido o prolongado.

Uno de los factores determinante es la seguridad, ya que para muchos de estos trabajadores será la primera vez que se encuentren en una construcción, razón por la cual se tiene que prestar mayor atención con ellos ya que pueden poner en riesgo sus vidas o las de los demás, causando incidentes por su inexperiencia en obra. Por tanto se toma un tiempo para instruirlos de manera eficiente en temas de seguridad, considerando que su integridad esta primero que cualquier producción.

Otro problema que se presenta es la responsabilidad de estos trabajadores, los cuales por primera vez van a trabajar bajo un régimen estricto que en muchos casos demandara que trabajen los domingos, lo cual ciertamente originara problemas de inasistencia que perjudicaran la planificación que uno pueda realizar.

Cuando los trabajadores antiguos y con mayor experiencia se den cuenta de que los trabajadores locales no trabajan a su ritmo, que se les tienen que enseñar muchas cosas y se presenten problemas de índole personal, surgirán varios conflictos entre sí lo cual ocasiona que algunos se retiren o que se desaten fuertes discusiones llegando inclusive al contacto físico. Con este tema hay que tener mucha precaución y anticiparse a la situación con actividades en las que se creen vínculos de compañerismo y amistad que propicie la cooperación.

En cuanto a las herramientas y equipos, es de comprender que este personal no tenga el cuidado en su manipulación y sea despreocupado, por lo que en base a charlas se debe inculcarle el buen uso de estos equipos y materiales a fin evitar problemas posteriores.

Ventajas

Los trabajadores locales al ser de esta zona están acostumbrados al clima y a la altura del lugar del trabajo lo cual hace que su rendimiento físico sea optimo, de esta forma contrarrestar su falta de experiencia y equiparar el rendimiento con los demás trabajadores quienes van a sufrir una baja inevitable por el clima y la altura, al menos hasta que logren su adaptación.

Por otro lado al ser personas humildes las que se encuentran en esta zona, se desenvolverán con mayor empeño haciendo su trabajo lo mejor posible a fin de causar una buena imagen y reconocimiento de la población de la zona. Es por esto que en muchos casos estos trabajadores son llevados a otros lugares con las empresas con las que trabajaron por primera vez, ya que se convirtieron en unos trabajadores con un alto rendimiento y destacada honestidad.

A estos trabajadores, que en la mayoría de casos comienzan desde cero, se les puede enseñar las técnicas correctamente para no tener que depender de algunos otros trabajadores que aprendieron antes y no necesariamente de la manera correcta o que ya tienen su forma de trabajar. Esto hace que los trabajadores locales sean más moldeables a lo que busca la empresa de ellos. Otro punto a resaltar es que no están metidos en ámbitos sindicales lo cual alivia los problemas que se tienen con los trabajadores antiguos, no obstante tampoco se abusa de ellos.

2.1.5 Fuentes de abastecimiento

Los puntos de abastecimiento son la ciudad de Arequipa, los cerros de Yanaorco y Talamolle, además de los pueblos de Quequeña, Yarabamba y Socabaya.

De Arequipa, la más grande fuente de suministro, se consigue:

Cemento, el cual se transporta en grandes cantidades y en camiones bien protegidos dado el riesgo de eventuales lluvias.

Herramientas, las cuales son todas traídas antes de comenzar los trabajos o con pedidos eventuales en caso se necesiten reemplazar por desgaste las que se iban usando.

Equipo de Protección Personal (EPP's), todos obtenidos con una alta frecuencia, ya que es lo que más se gasta y necesitaba ser renovado.

Fierro, el cual es traído desde Arequipa con las precauciones del caso por las lluvias de la zona.

Repuestos, llevados de tiendas de Arequipa o eventualmente con reparaciones que se tenían que hacer allí mismo.

Alquiler de maquinaria y equipos, el cual se realiza en las diversas empresas especializadas de la ciudad.

Del cerro Yanaorco:

Este sirvió como una cantera de rocas para los trabajos de la represa, del cual también se extrajo el material suelto fino. Por tal razón este cerro se volvió fundamental y además de su cercanía también abastecía de dos tipos de material suelto: de rocas y de finos.

Del cerro Talamolle:

Este cerro a comparación del cerro Yanaorco se encuentra un poco más alejado del área de trabajo, no obstante a una distancia moderada. Este cerro contiene material granular, por lo cual se volvió en cantera de granulares para la represa.

De las poblaciones de Quequeña, Yarabamba y Socabaya:

De estos poblados se obtienen materiales y herramientas que pueden ser de gran auxilio, mas no pueden abastecer totalmente a la obra dado que no tienen la suficiente capacidad.

Del pueblo de Quequeña se consiguió el servicio de alimentación que se da a la empresa durante todo el tiempo de su estadía.

Por último de estos pueblos se consiguió el personal que se necesitaba para la obra, ya que estas son las poblaciones que se van a beneficiar y son las más grandes y cercanas a la construcción.

2.2 Operaciones en las canteras, Equipo necesario para la Explotación de las Canteras, Cálculo de Volúmenes y Transporte

2.2.1 Operaciones en las canteras

De las distintas canteras, para los diferentes tipos de materiales que se requieren, se hicieron una serie de análisis para determinar exactamente el tipo de material que se podía extraer de estas para su uso en la represa.

De estos análisis se estableció que para obtener el material impermeable requerido en la represa se tenía que hacer una mezcla de 60% de material de la cantera de finos de Yanaorco y un 40% de material de la cantera de granulares de Talamolle.

Operaciones

- Canteras de finos y granulares

La explotación de las canteras se ejecutó bajo el siguiente procedimiento:

Los tractores se dedicaban a cortar el material, con su gran capacidad de empuje y con una cuchilla en la parte lateral de la topadora (el tipo de topadoras eran Hojas en “U”) debilitaban el material, para que luego las excavadoras se dediquen a batirlo y luego a extraerlo para finalmente cargar el material o colocarlo en zonas designadas para almacenamiento. El área superficial de la cantera es amplia lo cual transfiere libertad a las maquinarias para hacer las excavaciones y movimiento.

En la cantera de Yanaorco se estableció el lugar donde se procedería a hacer la mezcla con el material granular, por lo que al momento de extraer el material fino este se depositaba en un espacio cercano a su lugar de extracción, con el fin de hacer la mezcla y luego recién proceder a su carguío y transporte.

De igual forma el material granular extraído de la cantera Talamolle se dejaba cerca del material fino almacenado en la cantera de Yanaorco para poder crear luego la mezcla necesaria y obtener el material impermeable.

Con los dos materiales listos para la mezcla, las retroexcavadoras procedían a hacer la mezcla de materiales, que más adelante los cargadores frontales procederán a cargar en los volquetes para que se proceda con el traslado.

- Cantera de rocas

Las rocas necesarias a extraer para la represa se encontraban en toda la zona del cerro por lo que solo se procedió a seleccionar y recopilar las rocas para luego proceder con su carguío y transporte.

Otro de los beneficios fue que en la zona se contaba con una explotación artesanal de rocas hecho por los pobladores, quienes extraían la famosa Piedra Laja que se encuentra en la zona de Arequipa. Dado que esta explotación es artesanal, había

una gran cantidad de material rocoso que ellos no podían manipular pues carecían de maquinaria por lo cual por años habían dejado botadas estas rocas. No obstante este material si podía ser manipulado por las maquinarias por lo que se aprovechó en el enrocado de la represa.

En el ANEXO 1 se encontraran imágenes de las operaciones en las canteras.

2.2.2 Calculo de Volúmenes y Transporte

Capa Material Impermeable - Base de Presa

Material Fino (Yanaorco) 2,302.38 m³

Material Granular (Talamolle) 1,534.92 m³

Sumatoria de Fino + Granular= Material Impermeable GC 3,837.30 m³

Delantal Material Impermeable y su Uña Final

Material Fino (Yanaorco) 1,517.46 m³

Material Granular (Talamolle) 1,011.64 m³

Sumatoria de Fino + Granular= Material Impermeable GC 2,529.10 m³

Filtro Sobre Delantal

Material de Filtro(Talamolle) 500.50 m³

Relleno Cuerpo de Presa

Relleno con Material Gravo arenoso

Material Gravo arenoso (Talamolle) 144,836.60 m³

Filtro Debajo de Pantalla Impermeable

Material de Filtro (Talamolle) 2,916.00 m³

Relleno con Material Impermeable - Pantalla en Talud y su Dentellón

Material Fino (Yanaorco) 23,497.56 m³

Material Granular (Talamolle) 15,665.04 m³

Filtros (Talud Aguas Arriba y en Prisma Enrocado)

Material de Filtro (Talamolle) 3,010.20 m³

Prisma de Enrocado y Drenes

Prisma de Enrocado en Pie de talud Aguas Abajo D=0.50m

Selección y Acopio de Piedra (Yanaorco) 16,314.90 m³

Capa de Protección Talud Aguas Arriba (D= 0.15m - 0.80m)

Selección y Acopio de Piedra (Yanaorco) 30,291.90 m³

Capa de Protección Talud Aguas Abajo (D= 0.05m, e=0.20m)

Selección y Acopio de Piedra (Yanaorco) 1,549.70 m³

2.2.3 Equipo necesario para la Explotación de las Canteras

- Cargadores frontales de potencia 220HP:
Para cargar el material acopiado en los volquetes.
- Camiones volquetes de 15 m³:
Para el traslado de los materiales desde las canteras hasta la represa.
- Retroexcavadoras sin oruga 250HP:
Para el mezclado de los materiales para la obtención del material impermeable GC.
- Tractores Caterpillar D-7:
Para la explotación de la cantera usando su topadora para cortar el material y soltarlo.
Se tuvo 3 tractores por cantera.
- Excavadoras Caterpillar 330:
Para batir el material y colocarlo en las zonas de almacenamiento o en su defecto para cargar los volquetes. Se tuvo 3 excavadoras por cantera para poder complementar a los tractores.

CAPITULO 3

3.1 Construcción de la presa indicando sus procesos y etapas

Es importante indicar que durante todo momento los procesos para la construcción de la presa estuvieron acompañados de un trabajo de topografía, el cual tenía que verificar todas las condiciones e indicar donde se encontraban los errores para realizar las rectificaciones respectivas.

3.1.1 Desvío del río:

Previo a la construcción de la presa se procedió a construir la ataguía principal aguas arriba, que fue hecha de material aluvial, después de esta se construyó la ataguía aguas abajo del mismo material para poder realizar el bombeo del lugar.

El desvío del río fue realizado mediante un túnel de derivación de 176 m de longitud excavado en roca y sostenido con shotcrete de 5 cm con fibra de acero, pernos anclaje 1"x2.10m, cimbras y planchas de acero.

3.1.2 Primera etapa

En esta primera etapa se procedió con la excavación de los primeros elementos los cuales son la uña del delantal, la excavación del delantal, la excavación de la uña de la presa y la excavación de la capa fluvial de la cimentación de la presa.

El fin es que la superficie de todos estos elementos sea adecuada, por lo tanto que sea regular en su geometría y que podemos estar en roca sana o en su defecto en roca poco meteorizada. Para esto se tuvo que remover algunas rocas sobresalientes para mantener la regularidad.

Excavación de la uña del delantal:

La excavación de la uña se hizo con la ayuda de maquinaria pesada y secundada por trabajadores, para dejar el perfil necesario mientras la excavadora hacia el retiro

de material masivo. Esta uña tenía una altura aproximada de 5 metros y una longitud de aproximadamente 50 metros.

Para este trabajo la excavadora (Cat 330) estaba acompañada por un rieger el cual se fijaba en cualquier detalle, permitiendo que el trabajo se realice con la mayor seguridad.

En la ejecución del trabajo, la excavadora retiraba el material de manera masiva y lo colocaba a un costado para que un cargador frontal se encargue de desechar el material excedente, mientras tanto una cuadrilla se ocupaba de eliminar material y darle el perfil a la uña cuando la maquina había terminado de excavar en esa zona.

Excavación del delantal y la capa fluvial de la cimentación de la presa:

La superficie es mayor que la de la uña, pero la profundidad de la excavación es menor, alrededor de 3 metros. Este trabajo se realizó conjuntamente entre tractores (Caterpillar D7) y excavadoras (Caterpillar 330), la forma de trabajo era la siguiente:

Los tractores se encargaban de cortar el material todo lo que podían, así el material este lo más suelto posible para que las excavadoras realicen su trabajo y empiecen a excavar depositando el material en lugares estratégicos donde se iban a realizar vías para que la maquinaria encargada de eliminar el material excavado, tenga libertad de trabajo y se facilite la eliminación.

De la misma forma todas las maquinas estaban acompañadas de “paleteros” (personas con una paleta con los textos de siga o pare), ya que al haber varias maquinarias es una zona extremadamente susceptible a que ocurran incidentes, por lo que los paleteros debían estar correctamente instruidos y muy atentos durante el trabajo.

Excavación de la uña de la presa:

De ejecución muy similar a la excavación de la uña del delantal. Se hizo con la ayuda de una excavadora, la cual realizaba toda la remoción del material de manera masiva, llegando a una excavación con profundidad de alrededor de 3 metros a partir de la profundidad del delantal.

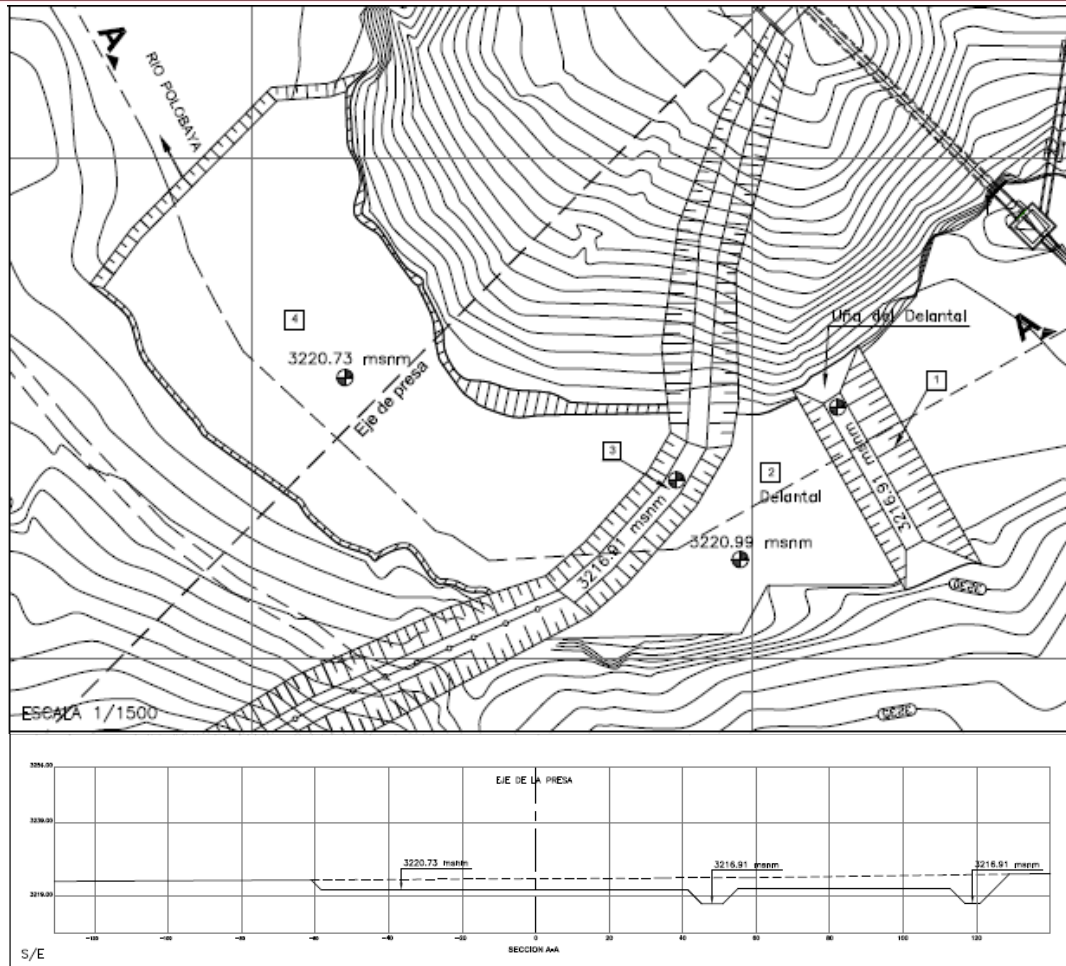


Figura 3 : Construcción Etapa 1

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

- 1.-Excavacion de la uña del delantal
- 2.-Excavacion del delantal
- 3.-Excavacion de la uña de la presa
- 4.-Excavacion de la capa fluvial de la cimentación de la presa

3.1.3 Segunda etapa

En esta etapa los trabajos a realizar son la pantalla de impermeabilización en el cauce y la excavación de las uñas en márgenes de la presa.

Excavación de las uñas en ambos márgenes de la presa:

En este caso la excavación se complica, ya que las excavaciones se dan en pendiente y en el margen derecho con mayor complejidad por la elevada pendiente que tiene.

En el margen izquierdo la excavación se hizo con una excavadora Caterpillar 330, con relativa facilidad y sin ningún proceso especial más que con la precaución de que existe una pendiente. Esta a su vez retiraba el material masivamente, mientras que personal se encargada de dejar el perfil regular. La máquina excava de arriba hacia abajo avanzando con la pala hacia adelante, para que en el caso de algún derrumbe no haya problemas y mientras avanzaba excavando iba colocando el material a un costado para que pueda ser eliminado.

Al ser un cerro siempre se encuentra crestas rocosas las cuales hacen que se complique el trabajo para la máquina, la cual trataba de excavar lo máximo posible, pero en algunos casos no se podía pues la roca era muy profunda por lo que se optaba en dejarla como estaba y los trabajadores se dedicaban a picar y limpiar la parte de roca que se encontraba erosionada para que queda la roca sana y no se tenga problemas con filtraciones.

Para el caso del margen derecho de la presa fue un poco más complicada por la gran pendiente que tenía el cerro, por lo que la excavación se tuvo que realizar en 2 partes. En la primera la maquina excavaría desde la parte superior utilizando el máximo alcance del brazo hidráulico, para esto en la parte inferior se delimito un área restringida a fin de que si ocurriera cualquier derrumbe no causara ningún daño lamentable. El material que retiraba la excavadora lo llevaba hasta la parte superior y lo dejaba para ser eliminado.

Después de haber excavado desde la parte superior hasta llegar al alcance máximo, se procede a excavar desde la parte inferior de igual forma teniendo como prioridad dar la máxima seguridad contra cualquier derrumbe. La excavadora comenzó a jalar el material desde la parte más alta hasta la parte inferior y después dejarlo para su eliminación. Luego con ayuda de andamios los trabajadores procederían a dejar la zona limpia y el perfil necesario.

En la figura inferior podemos notar el alcance de la excavadora Caterpillar 330, la cual fue la utilizada para el trabajo. Esta máquina cumplía por un pequeño margen

con el alcance necesario para realizar el trabajo desde la parte inferior y superior y abarcar toda el área de trabajo.

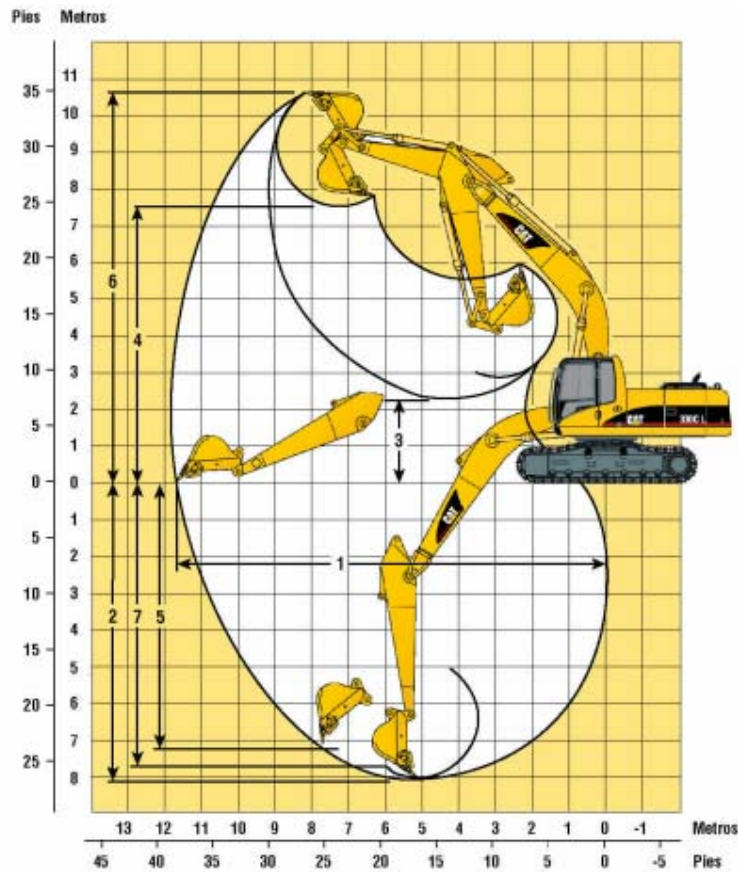


Figura 4: Excavadora Caterpillar línea 330
Fuente: Pagina oficial Caterpillar

Pantalla de Impermeabilización:

En el margen izquierdo estaba prevista la impermeabilización mediante perforaciones, pero con estudios geológicos realizados después de la excavación se encontró que no se necesitaban las perforaciones ya que se encontraba roca sana y si se realizaban se estaba más propenso a que se fracture la roca que es de origen volcánico y al final habría más peligro de infiltraciones. Por eso en ambos márgenes después de estar excavados se procedió únicamente a rociarle shotcrete para recubrir las paredes de estas excavaciones.

A parte de estos trabajos, en el margen derecho se realizó algunos trabajos para impermeabilizar este cerro ya que iba a tener contacto con el agua. Para lo cual primero se realizó una limpieza del mismo retirando todo el material suelto a mano, dejándolo lo más limpio posible. Después de esto se realizaron dos excavaciones

bordeando el cerro a diferentes alturas que servirían con el cemento de dos barreras para los derrumbes. Más tarde se procedió a esparcir un material suelto arcilloso impermeable que sirvió para recubrirlo dejándolo liso y parejo. Este trabajo se hizo con compactadoras vibratorias planas tipo plancha, para cada compactadora se necesitó tres personas dos de las cuales se dedicaban a jalar la compactadora por la pendiente existente mientras que la otra persona operaba y empujaba el equipo. Con el perfil emparejado se procedió a enrocar el cerro con piedra laja, la cual es plana y muy fácil de colocar, además se usó concreto para unirlas y así dejar el cerro impermeable. Este trabajo se fue realizando en paralelo al de la represa, ya que al ser un trabajo que era mayormente manual y en una pendiente elevada requirió un tiempo considerable.



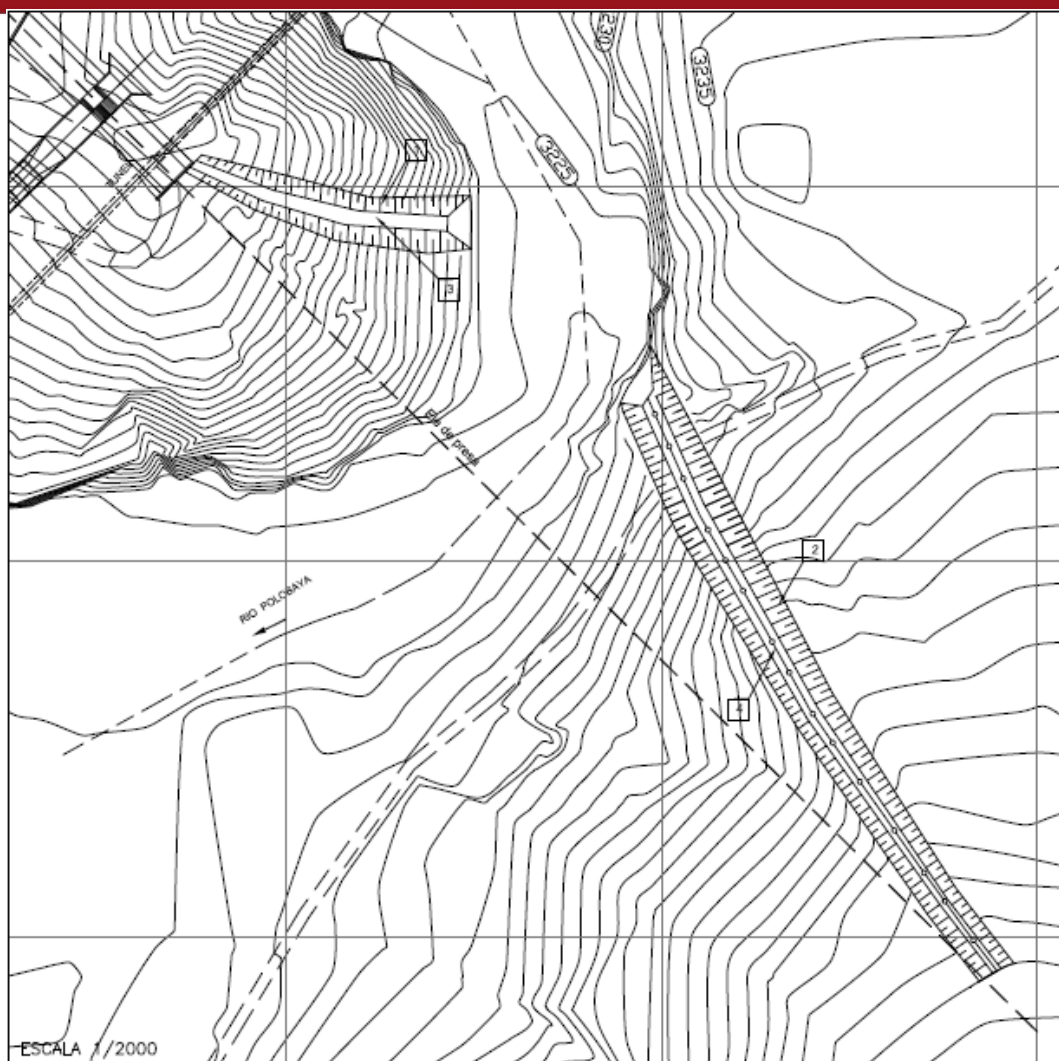


Figura 5: Construcción Etapa 2

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

- 1.-Excavacion de la uña de la presa margen derecho
- 2.-Excavacion de la uña de la presa margen izquierdo
- 3.-Ejecucion de pantalla de Impermeabilización margen derecho
- 4.-Ejecucion de pantalla de Impermeabilización margen izquierdo

3.1.4 Tercera etapa

Pantalla de impermeabilización en parte inferior de márgenes y relleno de la uña de la presa en el cauce.

Relleno de la uña y su delantal:

Antes de rellenar la uña se le vertió una lechada para no tener problemas con derrumbes o deslizamientos de material. También en un costado de la excavación de la uña se realizó una rampa orientada al delantal de la presa. Esta fue hecha para que las compactadoras pudieran entrar y hacer su trabajo.

El material premezclado en las canteras y con todas las especificaciones se echaba con los volquetes que movilizaban el material, luego de echar el material desde el filo de la uña con la ayuda de el brazo hidráulico de una excavadora se extendía lo más parejo posible y luego se secundaba con personal que terminara de extenderlo. Una vez extendido entraba primero la compactadora tipo “Pata de Cabra” para comenzar con la compactación, luego de que esta terminaba su trabajo recién podía ingresar la compactadora lisa que procedía a finalizar el trabajo de compactación, en los bordes y espacios pequeños en donde la maquinaria no llegaba los trabajadores usaban compactadoras estilo canguro.

Este trabajo de compactación se realizó en capas de 30 centímetros, ya que al ser un elemento que tiene que detener las filtraciones el compactado debía ser riguroso. Al terminar cada capa se realizaban los estudios de compactación para confirmar que se cumplía con las condiciones según las pruebas Proctor.

En el caso del delantal el trabajo se facilitaba un poco ya que es un área más extensa en la que el proceso era bien parecido pero con algunas diferencias. Los volquetes llegaban al área de trabajo por los accesos habilitados previamente depositando el material en toda la zona, dejándolo como montículos, luego de esto una motoniveladora entraba en acción esparciendo todo el material por toda la zona con lo que la dejaba parejo y mientras este iba esparciendo el material la compactadora Pata de Cabra comenzaba a compactar toda la zona pasando una y otra vez hasta que el material quedara bien compactado, luego de esto la compactadora de rodillo liso comenzaba a compactar en el área que ya estaba compactada por la Pata de Cabra dejando el lugar liso y listo para hacerle las pruebas de compactación.

Eventualmente era necesario que ingrese una cisterna la cual apoyaba con humedecer el material, ya que la presa se encontraba en un lugar muy soleado este se secaba muy rápidamente y para compactar se necesita un poco de humedad.

Ejecución de la pantalla de impermeabilización con jet-grouting:

Este proceso es para poder impermeabilizar la parte inferior de la represa, llegar hasta una profundidad mayor y reducir muy considerablemente las infiltraciones. Es realizado casi enteramente por el equipo que se encarga del trabajo, excepto por que antes de que este pueda trabajar la zona tiene que ser preparada para que el equipo tenga una estabilidad completa y este en una zona plana, también hay que proporcionarle el material con el cual va a impermeabilizar el suelo y después de eso un operador del equipo que lo proporcione la misma empresa que lo alquilo.

El proceso consta en lo siguiente:

El equipo empieza a perforar hasta llegar a la altura requerida luego de esto empieza a inyectar el material preparado poco a poco hasta una presión máxima y luego sube lentamente hasta llegar a la parte superior dejando toda la zona impermeable.

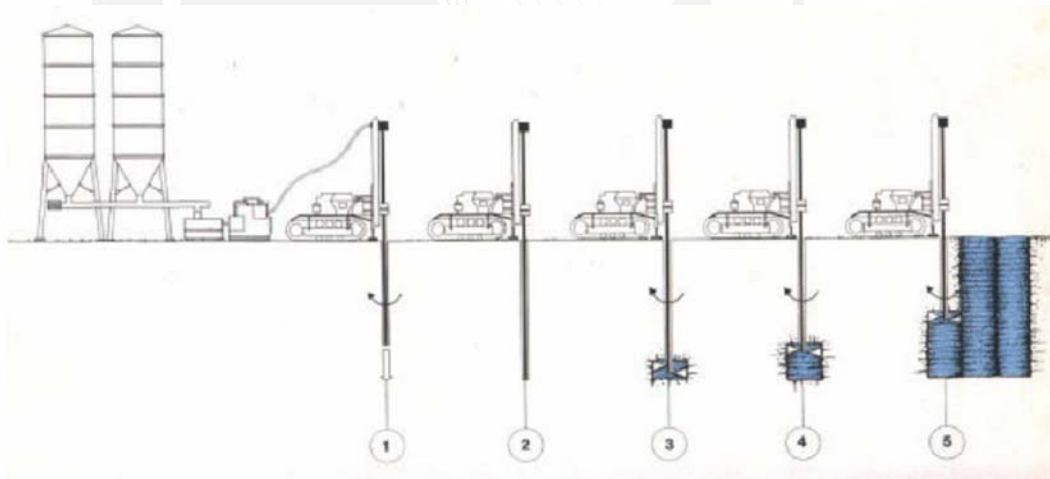


Figura 6: Proceso de jet-grouting

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

Relleno parte posterior de la presa:

Esta parte de la presa tiene una altura de 3 metros de diferente material que ira debajo del cuerpo de la presa.

De igual forma esta zona tenía acceso para que los volquetes entren a depositar el material, el cual se dejaban en montículos por toda el área los cuales después con la motoniveladora se esparcía para que comience el proceso de compactación primero con la compactadora Pata de Cabra, luego en los lugares que ya estaban compactados por esta, la compactadora de rodillo liso también actuaba dejando todo liso. La diferencia con las anteriores es que esta no requería un nivel tan alto de compactación por lo cual las maquinas no realizaban tantas pasadas. De igual manera las capas eran de mayor altura lo cual tomaba menos tiempo en realizar esta compactación.

Esquema tercera Etapa:

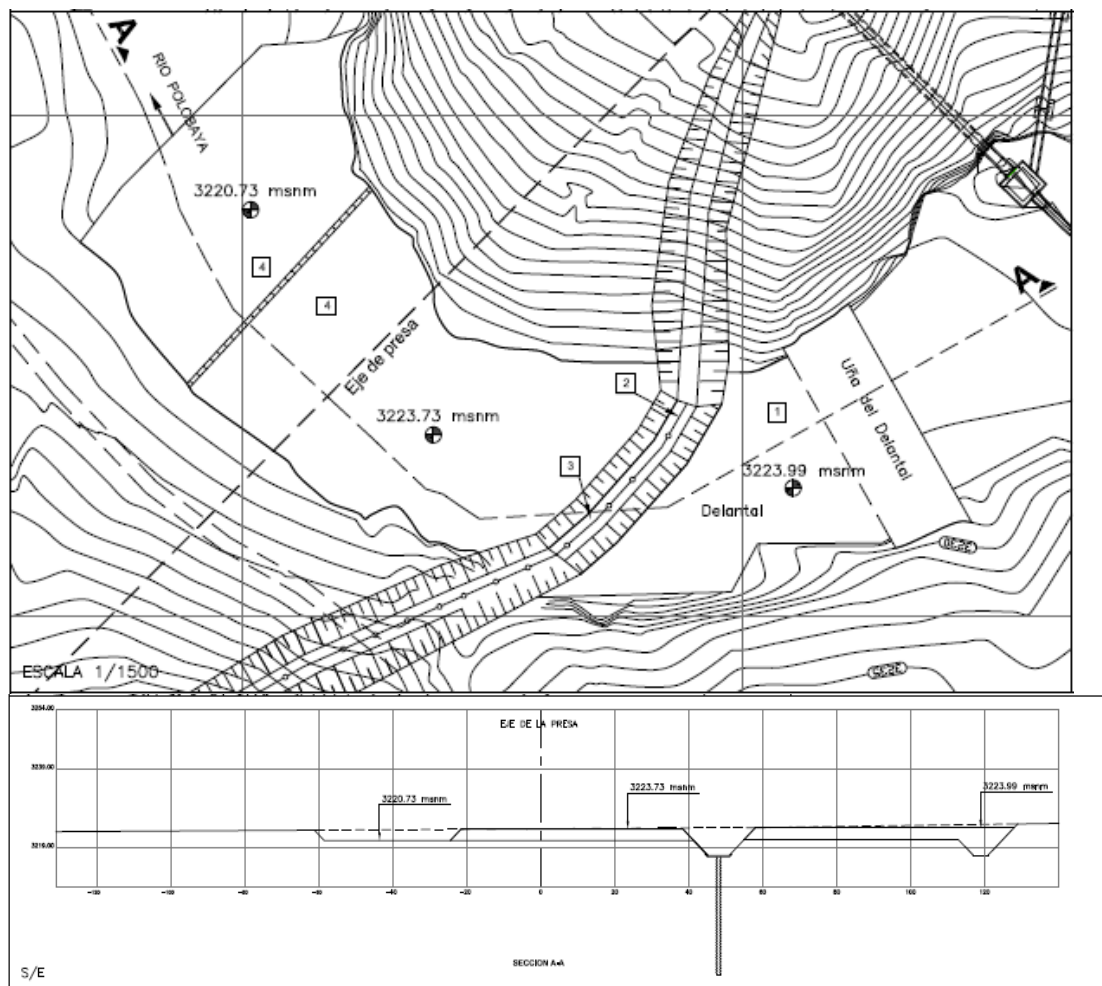


Figura 7: Construccion Etapa 3

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

- 1.- Relleno con suelo Impermeable del delantal y su uña.
- 2.- Ejecución de la pantalla de impermeabilización con jet-grouting
- 3.- Ejecución de la base de concreto del dentellón
- 4.- Relleno

3.1.5 Cuarta etapa, Quinta etapa y Sexta etapa:

Colocación del prisma de enrocado y filtro:

Este trabajo se realizó siguiendo el siguiente proceso detallado a continuación:

Primero el material rocoso más grande es trasladado por volquetes, los cuales dejaban el material a lo ancho de la presa. Una vez acumulado en la zona la excavadora procedía a emparejar el material fijar los límites del prisma.

Con el material más grande esparcido, se traía material rocoso más pequeño el cual era depositado encima de las rocas más grandes de manera que llenaban los agujeros que quedaban libres entre roca y roca. El depósito de este material más pequeño se hacía con la ayuda del brazo hidráulico de la excavadora. Luego con los dos diferentes de materiales depositados un tractor con oruga pasaba por encima del enrocado tratando de dejar el material todo a una misma altura y también con el propio peso de la maquina todo el material se compactaba y se daba un mejor acomodo de los materiales, para que el tractor pueda subir al prisma por uno de los costados con ayuda del cerro se pudo lograr un acceso.



Figura 8: Vista del prisma de enrocado y el acceso lateral para el tractor

Fuente: Propia

Como parte de la cuarta, quinta y sexta etapa se tiene:

Relleno del material del cuerpo de presa y relleno de la pantalla de suelo impermeable, para realizar este trabajo se usaron los mismos procedimientos utilizados en los anteriores. Los volquetes ingresaban al área de trabajo depositando el material de un extremo a otro y depositando los tipos de materiales diferentes en el lugar necesario.

Luego de depositado entraba en acción el tractor que empujaba el material, esparciéndolo por todo el área, para que así la Motoniveladora comience a emparejarlo y así dejarlo lo más parejo posible para que inicie la compactación.

Antes de comenzar con la compactación se tenía que verificar que las dimensiones, sobre todo del material impermeable, sean las correctas, ya que es muy importante que este tenga todas las características definidas por ser el que va a defender a la presa de las infiltraciones. Para tener la seguridad de cumplir con las dimensiones del material impermeable se depositaba mas material del estrictamente necesario ya que para la construcción es muy difícil que se tenga el perfil exacto por lo que se tenía un área “contaminada” y luego el material impermeable limpio, con esto se aseguraba que se cumpla con las especificaciones dadas. De otra forma se tendría que encofrar para separar el material impermeable del cuerpo de la presa, lo cual era mucho más difícil, por lo que se tomo la decisión de echar más material impermeable.



Figura 9: Proceso de compactado de capas en la presa

Fuente: Propia

Con el material emparejado se comenzaba con la compactación, primero la compactadora tipo pata de cabra realizaba la compactación, para que luego la de rodillo liso empiecen a realizar su trabajo de compactar y dejar todo liso. Este trabajo se realizó por capas de una altura determinada dependiendo de la que iba adquiriendo la presa. Un detalle importante fue que al terminar la compactación y cuando la zona estaba completamente lisa, se hacían ranuras a todo el ancho de la presa las que servían para que cuando la siguiente capa de material se compactara se tuviera una fricción extra y no se produjeran fallas por corte más adelante en la presa.



Figura 10: Ranuras para prevenir la falla por corte.

Fuente: Propia

De igual forma que en las otras compactaciones y en todas las capas siempre tenía que ingresar una cisterna al área de trabajo para humedecer el material ya que secaba muy rápidamente.

Como parte de la cuarta y quinta etapa se tiene:

Colocación de filtro y enrocado de protección aguas arriba

Cuando se llegó a la altura última de material impermeable y del cuerpo de la represa, recién en ese momento por facilidad para el proceso constructivo, se comenzó a esparcir en toda la pendiente el material filtro desde la parte superior. En este momento comenzaron las excavadoras a colocar el material filtro y la misma máquina compactaba el material con la parte trasera de su lampón, esta máquina golpeaba el material filtro y de esta forma dejaba el perfil, de todas formas en todo momento se verificaba el perfil con ayuda de los topógrafos para no cometer errores. Para este trabajo se usaron tres excavadoras que trabajan a todo lo ancho de la presa y luego el trabajo lo terminaron solo dos por el espacio que se iba acortando. Este trabajo de colocar el material, luego emparejarlo y compactarlo por las excavadoras eran secundados por personal con compactadoras vibratorias tipo plancha, cuando se encontraban ciertos errores.



Figura 11: Extendido, emparejado y compactado del material filtro aguas arriba

Fuente: Propia

Luego de dejar todo el perfil listo se tenía que extender una geomembrana que sirve para reducir al máximo posible las infiltraciones. Este proceso se realizó de la siguiente forma:

Primero en la parte superior de la presa se hizo una zanja a todo lo ancho con una retroexcavadora, esta zanja serviría para colocar la geomembrana en esta zona y luego enterrarla para que sirva como sostén y recubra el borde para que en ningún momento se destape o se levante. Esta misma zanja se hizo en la parte inferior y por todo el borde para que cumpla la misma función descrita.

La geomembrana era enviada en rollos muy pesados, para lo cual se hizo una adaptación en una de las retroexcavadoras para que esta las cargue y se puedan extender sobre el perfil de la presa. Desde la parte superior se soltaba la geomembrana extendiéndola hasta la parte inferior, por cada membrana se sobreponían para el posterior proceso de pegado.

Mientras se extendían las geomembranas, a las que ya estaban colocadas se les ponía sacos de arena encima para que no se movieran, del lugar en el que se habían colocado, por el viento o otras razones. Cuando varias geomembranas ya estaban colocadas se iba realizando el proceso de pegado para esto se subcontrató un equipo especialista en este trabajo los cuales tenían todos sus equipos y herramientas indicados para esto.

Después de haber recubierto toda la presa se tenía que cubrir con una segunda capa que servía como protección de la geomembrana para que en el momento de colocar el enrocado la geomembrana no se rompa. Para este trabajo se utilizó el mismo proceso que la geomembrana.



Figura 12: Colocación de la geomembrana con la ayuda de la excavadora, aguas arriba

Fuente: Propia



Figura 13: Geomembrana y protección totalmente extendidas aguas arriba

Fuente: Propia

Terminando con las geomembranas se procedió al colocado del enrocado según las especificaciones, pero antes de colocarlo la geomembrana se protegió con un material suelto de arena gruesa. Este fue depositado con excavadoras sobre toda la geomembrana.

En las partes que ya se encontraban protegidas se procedió a colocar el enrocado, al ser un trabajo de gran cantidad de material este era depositado por los volquetes y era extendido por tractores en las partes inferiores, pero mientras se llegaba a más altura las encargadas de colocar el enrocado eran las excavadoras. Siempre que el trabajo ya no lo podían realizar las maquinas el trabajo era secundado por los trabajadores que se encargaban de colocar el enrocado obviamente con un rendimiento muy inferior, pero necesario.

O en el momento en el que la maquinaria cometía un error el personal obrero lo corregía en el momento que se verificaba.



Figura 14: Colocación del enrocado aguas arriba

Fuente: Propia

Proceso dentro de la quinta y sexta etapa:

Colocación del enrocado de protección aguas abajo

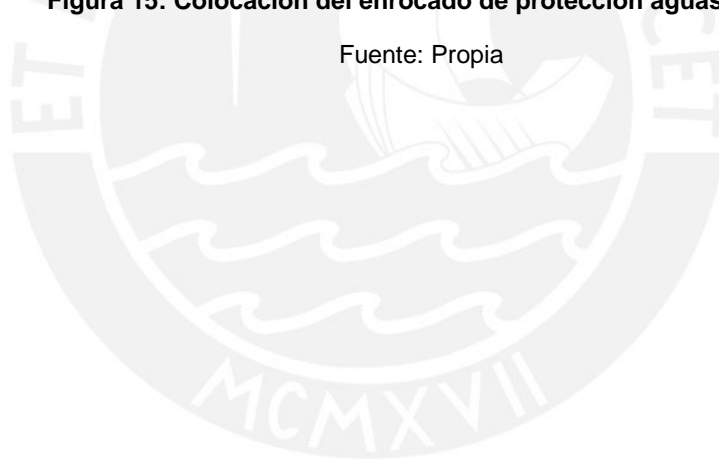
Como se puede apreciar en la imagen, el proceso era realizado casi en su totalidad por el personal. Este trabajo se realizaba en paralelo al los trabajos aguas arriba, para esto un volquete colocaba el material en la parte superior, este era piedra laja la cual es una piedra muy plana y fácil de colocar, así de esta forma los trabajadores cargaban piedra a piedra hasta el lugar donde la colocaban, cuando el trabajo era en las partes más altas el material se dejaba en la parte inferior o superior y con la ayuda de una excavadora se cargaba el material hasta donde el

brazo hidráulico pudiera llegar, de esta forma se agiliza el carguío de las rocas hasta el lugar de colocación.



Figura 15: Colocación del enrocado de protección aguas abajo

Fuente: Propia



Esquema cuarta etapa:

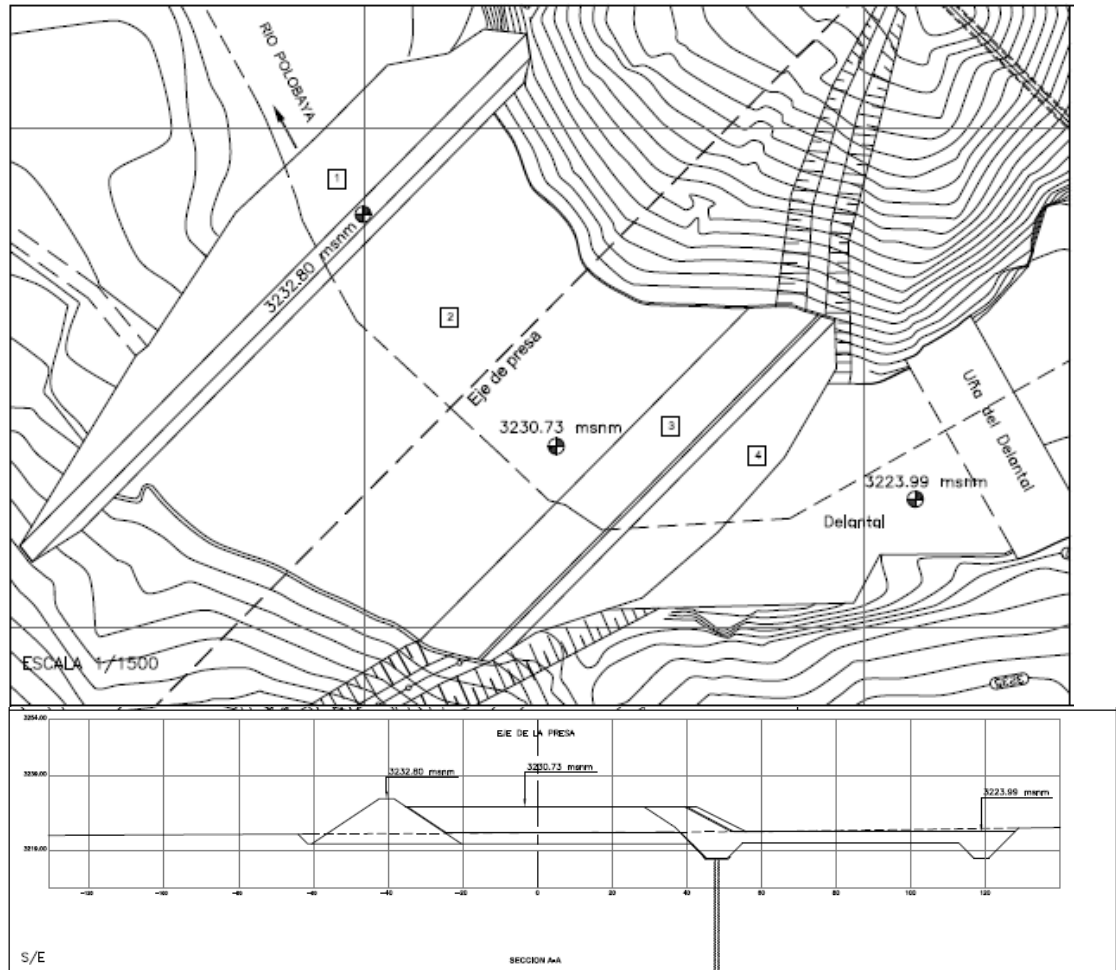


Figura 16: Construcción Etapa 4

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

- 1.-Colocación del prisma de enrocado y filtro
- 2.-Relleno del material del cuerpo de presa
- 3.-Relleno de la pantalla de suelo impermeable
- 4.-Colocación de filtro y enrocado de protección aguas arriba

Esquema Quinta etapa:

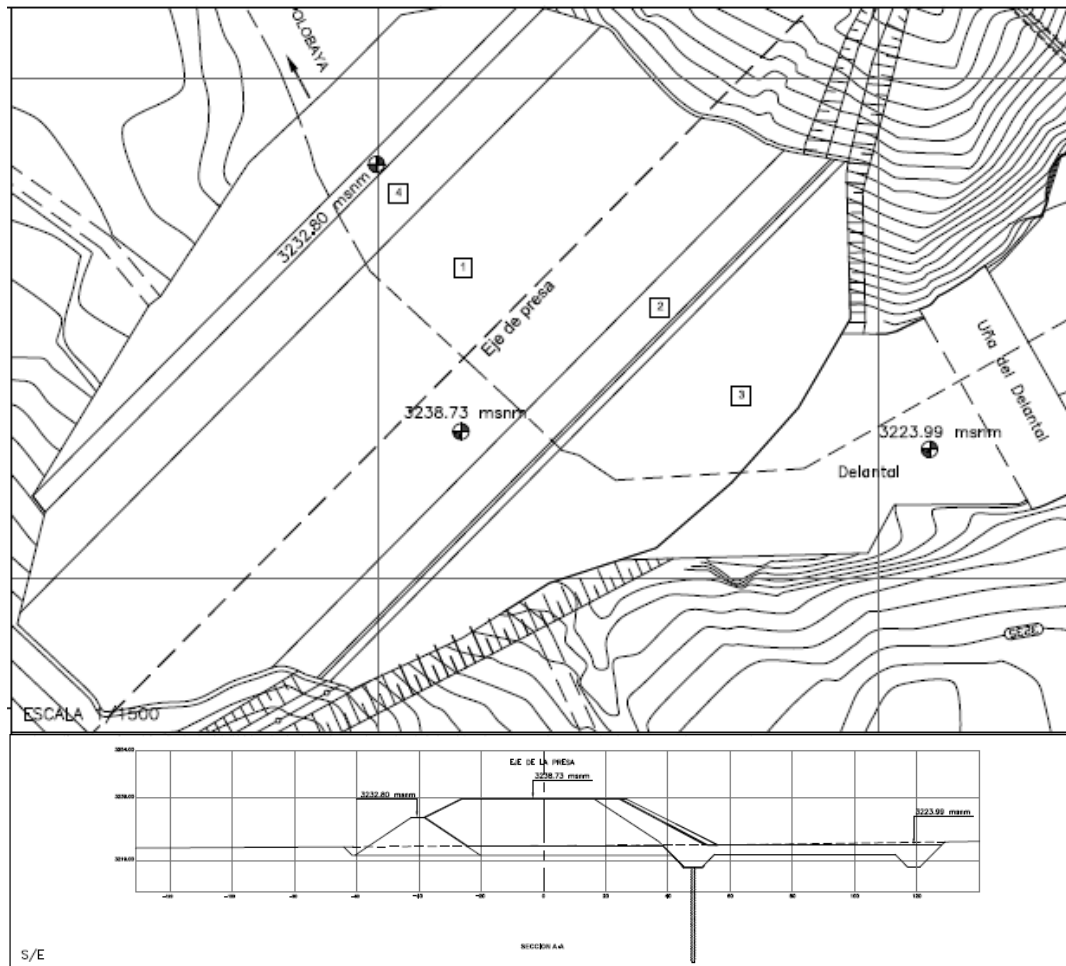


Figura 17: Construcción Etapa 5

Fuente: Propia

- 1.- Relleno del material del cuerpo de presa
- 2.- Relleno de la pantalla de suelo impermeable
- 3.- Colocación de filtro y enrocado de protección aguas arriba
- 4.- Colocación del enrocado de protección aguas abajo

Como parte de la Sexta Etapa:

Colocación de sub-base y base de carretera y parapeto de concreto.

En la parte superior de la represa se tendría que cubrir con una capa de arena la cual fue colocado con volquetes y se extendió con la ayuda de un tractor para luego una motoniveladora emparejara la arena y se comience con el proceso de compactado y luego encima de esta capa de arena se coloco una capa de afirmado

para que por esta zona pueda transitar tráfico sin problemas. Este afirmado se realizó con el mismo proceso anterior.

Sobre este afirmado se tenían que construir un parapeto con su vereda respectiva en el lado de aguas arriba y también construir una vereda con su baranda hacia el lado de aguas abajo.

Este para estos vaciados se utilizó concreto de 210 f'c utilizando un encofrado de madera simple. La mezcla se realizó in situ con ayuda de trompos.

Esquema Sexta etapa:

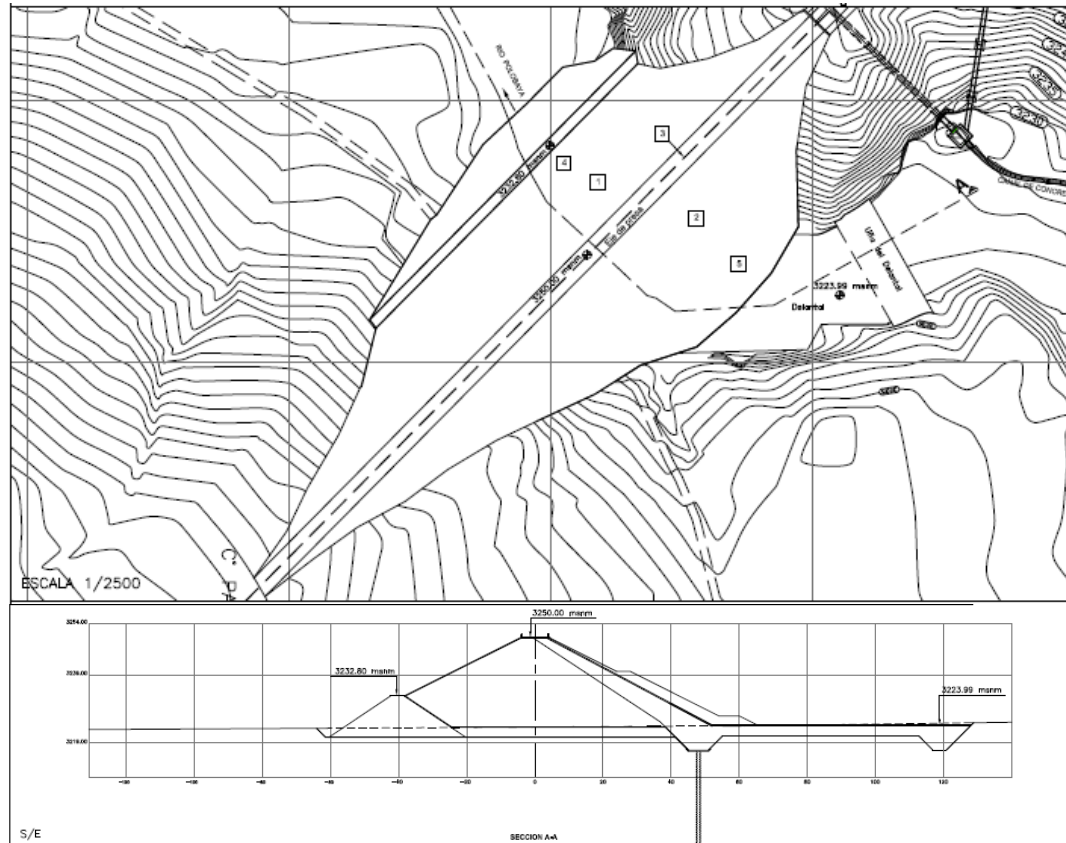


Figura 18: Construcción Etapa 6

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005)

- 1.- Relleno del material del cuerpo de presa
- 2.- Relleno de la pantalla de suelo impermeable
- 3.- Colocación de sub-base y base de carretera y parapeto de concreto
- 4.- Colocación del enrocado de protección aguas abajo
- 5.- Colocación de filtro y enrocado de protección aguas arriba

En el ANEXO 2 se encontrarán imágenes de los procesos y avance de la represa

CAPITULO 4

4.1 Planeamiento de obra: Marco teórico

4.1.1 Justo a tiempo (just in time)

Es un modelo de gestión de la producción cuyo objetivo es producir exactamente lo que necesita, cuando se necesita y en la cantidad que se necesita. Esta gestión busca eliminar todo tipo de pérdidas en el proceso de producción y en las actividades relacionadas. La idea es que ningún proceso en el sistema produzca una salida hasta que el proceso precedente se lo exija.

Cuando comparamos el sistema tradicional de producción con el Just In Time (JIT) encontramos:

El Sistema Tradicional se enfatiza en mantener la línea de producción en movimiento, tiene en stock recursos para cualquier imprevisto en la construcción, por lo que se puede decir que “empuja” a la producción.

En cambio el JIT tiene como meta no tener nada almacenado (0 en stock) ya que estos tapan o disimulan ineficiencias o problemas de los procesos, pero en el momento en el que no se tiene nada en reserva, salen a la luz todos los problemas y con esto se pueden solucionar y así no cometer los mismos errores. Con este método se trata de anticipar los problemas antes que sucedan y así tener que desarrollar o implementar soluciones para evitarlos.

El Just In Time (JIT) tiene tres metas:

- 1.- Control de cantidades: Le permita a esta gestión acoplarse a los cambios diarios y mensuales en términos de cantidad y variedad.
- 2.- Calidad: Trata de asegurar que los procesos van a entregar al siguiente proceso los productos con la calidad requerida.
- 3.- Respeto a la humanidad: Que debe ser cultivada mientras el sistema utilice recursos humanos para alcanzar objetivos.

Beneficios que se tienen aplicando el JIT:

Como el inventario ideal en el JIT es cero o el mínimo posible, se ahorra en costos de almacenamiento, manipuleo y la protección que requieren ciertos materiales. Por lo que el riesgo de que se deteriore cualquier material es nulo.

El identificar problemas se vuelve muy fácil lo que puede llevar a un proceso de mejora continua para que en el futuro no existan problemas. Este busca eliminar toda clase de pérdidas y así ahorrar en el costo.

Disminuye el tiempo del ciclo de producción ya que disminuye los tiempos improductivos dentro del proceso y el tiempo para iniciar el proceso.

Trata de reducir 7 tipos de pérdidas:

- Pérdidas por Sobreproducción
- Pérdidas por Espera
- Pérdidas por Transporte
- Pérdidas por Procesamiento
- Pérdidas por Stocks innecesarios
- Pérdidas por Movimiento
- Pérdidas por Producción de Productos Defectuosos

Para poder lograr que esta herramienta sea efectiva la alta gerencia tiene que estar comprometida, se tiene que realizar un entrenamiento al personal, usar la tarjeta Kanban esta sirve para que el proceso posterior le pida al anterior lo que necesita, cuanto quiere y cuando lo quiere.

Se tienen que anticipar los errores haciendo por ejemplo mantenimientos preventivos para la maquinaria y equipos para que no parar por fallas

4.1.2 Construcción sin pérdidas

Existe un gran potencial para la reducción de pérdidas de materiales en las obras. Esta disminución es deseable ya que el mercado actual es extremadamente

competitivo. Materiales y componentes pueden representar un gran porcentaje del costo de una construcción.

Es importante realizar un estudio de las pérdidas ya que, desperdiciar materiales es desperdiciar recursos naturales: materia prima, energía y agua consumidos en la fabricación de los materiales.

Las pérdidas son todo lo que se usa en una cantidad mayor a la necesaria durante las diferentes etapas de la construcción. Diferencia porcentual (absoluta) entre la cantidad de recursos utilizados reales y la cantidad teóricamente necesaria para realizar la obra.

Las pérdidas se pueden clasificar en diferentes grupos:

Según el tipo de recurso consumido: Entre estas tenemos las pérdidas financieras y las pérdidas físicas. Entre las pérdidas financieras tenemos las estrictamente financieras y las que se deben a la pérdida de los recursos físicos y entre las pérdidas físicas tenemos las pérdidas de mano de obra, equipos y materiales.

Según su naturaleza: Dentro de esta tenemos la pérdida por sobreproducción que se da cuando la cantidad de material producido es mayor al necesario para la realización del proceso. Pérdida por sustitución se da cuando son utilizados materiales de características superiores a los especificados. Pérdida durante la recepción, y almacenamiento del material. Pérdida en el transporte de materiales cuando se utiliza equipos inadecuados para el traslado de materiales y cuando el "layout" de la obra está mal dispuesto o no se hizo un diseño de este, los insumos y equipos se encuentren lejos de donde se encuentra la actividad en la que se los requiere. También tenemos las pérdidas durante la ejecución, por la elaboración de productos defectuosos y otras pérdidas por vandalismo, clima, robo, accidentes.

Según su control tenemos la pérdida natural, siendo inevitable ya que es una pérdida para el cual se tendría que invertir más para evitarla que el costo que tendría con solo eliminarla, y las pérdidas evitables en las cuales el costo de prevención es menor que el costo al tener la pérdida.

Según su origen estas pérdidas se dividen entre las que se dan en la Concepción, en la Planificación, en la Adquisición, en la Ejecución y las que se dan por el Uso o mantenimiento.

Según el momento en que se manifiestan, estas pueden estar en la recepción, en el almacenamiento, en el transporte, en el procesamiento y por último en la ejecución.

Las pérdidas pueden estar clasificadas en varios de estos campos antes mencionados.

4.1.3 Ultimo planificador (last planner)

Es un sistema para Gestión de Producción del capítulo Lean, este trata de asignar trabajo que se pueda realizar y que genere una transmisión de programación a campo a través de maestros y capataces.

4.1.3.1 Tipos de Programación

- **Programación Maestra (Planeamiento)**

La programación maestra es la que se realiza previamente al inicio del trabajo y es la que marca su pauta. Al ser una programación con un intervalo de tiempo grande, esta va a tener muchas correcciones y lo más probable es que no se vaya cumplir, porque existen diversas variables que la influyen y de esta forma va a ser muy difícil que esta coincida con lo que paso realmente luego del término de la construcción.

Sin embargo esta programación se mantiene a la mano en el momento de los trabajos ya que sirve como guía, además esta se va modificando y corrigiendo mientras se va avanzando con las obras, con el fin de que este lo más actualizada posible.

- **Programación por fases**

En esta programación se desglosa la programación maestra, acá es donde vemos que actividades vamos a necesitar para poder realizar cada fase de la construcción. Para este tipo de programación se utiliza una técnica llamada "Pull", que consiste en ir en reversa actividad por actividad, para así darnos cuenta todas estas.

Para esta fase de programación se necesita que todo el equipo de trabajo este involucrado desde el residente, supervisor, capataz y líderes. Con todas estas opiniones se va a tener una duración de actividades muy real, lo cual va a beneficiar mucho al proyecto.

Es muy importante, en esta parte de la programación, darle a cada una de las actividades una holgura, ya que como se sabe en la construcción siempre se tiene una gran variabilidad, lo que nos hace vulnerables a fallar y por ende a tener pérdidas en el proyecto. Con estas holguras nos aseguramos que el golpe por la variabilidad no sea alto, o que este cubierto, sobre todo en actividades que se sabe son críticas y tienen un alto grado de variabilidad.

- **Programación Intermedia (Semanal, Quincenal, Mensual)**

En este tipo de programación intermedia encontramos a la programación con el método “look ahead” y el análisis de restricciones, ambos métodos serán explicados posteriormente.

Este tipo de programación es más veraz por lo que el intervalo de tiempo es menor, con lo que se puede predecir con mayor precisión lo que va a ocurrir con los procesos del proyecto, en esta muchas de las variables se vuelven constantes por lo que se pueden definir mejor los tiempos.

Con esta se puede saber cuáles van a ser los recursos necesarios y aproximadamente el momento en el que son requeridos para que los pedidos se realicen oportunamente y así levantar cualquier restricción para que no existan pérdidas de tiempos.

- **Programación Diaria**

Este tipo de programación es muy útil para cumplir objetivos diarios pues al ser de corta duración es muy fácil saber exactamente qué es lo que va a suceder para que al finalizar el día se conozca el estado de las actividades y con lo cual para el día siguiente se tenga un alcance de con que se va a contar y a la vez se pueda trazar una meta que se pueda cumplir.

Como se menciona esta actividad se realiza al finalizar cada día de trabajos, para de este modo programar los trabajos del día siguiente y así cuando comiencen se sabe de antemano lo que se tiene que hacer y se pueda tener listo todos los recursos necesarios para cada una de las actividades, con esto se pueden realizar los pedidos con tiempo y anticipación para no tener pérdidas de tiempo que desembocan en pérdidas económicas.

Esta programación diaria puede ser difundida al personal en las charlas de seguridad antes de comenzar cada día de labor, así el trabajador sabe que es lo que tiene que

acabar en el día y que es lo que el residente necesita que se acabe termine, de esta forma este tiene un mejor control de su programación.

También se le puede motivar al trabajador poniéndole una meta en una labor encomendada para el día y si este la cumple se puede retirar a su casa, de esta forma el trabajador va a acostumbrarse a un ritmo de trabajo el cual más adelante nos puede servir para que las metas sean un poco más ambiciosas.

4.1.3.2 Trenes de Trabajo

Secuencias de actividades que fluyen como un tren, donde los vagones son las actividades. Con esta herramienta todas las actividades se vuelven críticas, pues se reducen todas las holguras. Esta herramienta se realiza cuando los proyectos tienen una variabilidad reducida lo que quiere decir que los procesos sean repetitivos o en su defecto que sean muy parecidos para poder mecanizar y cumplir con los tiempos. Para esto es necesario que el trabajo pueda ser divisible en sectores los cuales requieran aproximadamente el mismo tiempo de trabajo, para así conseguir una continuidad, dado que las jornadas laborales tienen un intervalo de tiempo fijo.

Entre las características encontramos que:

Se logre que todos los días cada cuadrilla tenga la misma producción o una muy similar, de esta forma se logra que lo que se hará al día siguiente sea previsible. También el consumo de materiales se vuelve constante lo que facilita a las tareas de logística al lograr que no existan mayores variantes.

El procedimiento para usar esta herramienta es el siguiente:

Primero se tiene que sectorizar la obra dividiéndola en partes relativamente parecidas, luego de hacer esto se tendrá que hacer un listado de todas las partidas asignándoles códigos según el sector al que pertenezcan. Posteriormente se tendrán que ordenar estas partidas bajo una secuencia lógica de trabajo según los procedimientos, de esta forma podemos identificar las posibles holguras que se tendrán en el proceso. Por último con estas holguras podemos balancear los recursos ya sean horas hombre, materiales y equipos para emparejar a todos los sectores y duración de actividades para tener una secuencia perfecta.

4.1.3.3 Look ahead planning

Es una herramienta de planificación la cual se puede hacer hacia 4 semanas en adelante con una definición de tareas al detalle.

Los objetivos de esta herramienta son definir el orden y ritmo del flujo de trabajo e igualarlo con la capacidad que se tiene y desarrollar métodos detallados para ejecutar el trabajo.

Esta herramienta sigue una metodología la cual es tomar del plan general un tiempo de 4 semanas hacia adelante, descomponer sus actividades en paquetes de trabajo para luego efectuar un análisis de restricciones y resolverlas eliminándolas.

Con esta herramienta vamos a poder observar que pedidos de recursos vamos a necesitar en las 4 semanas que se vienen, se puede observar que actividades críticas vamos a tener y que opciones tenemos para poder controlarlas.

Los beneficios que entrega esta herramienta son:

Promueve la responsabilidad y acción en la obra, crea una certidumbre y honestidad en el trabajo, con esto se mejora el control de los procesos. También libera tiempo para mejorar los métodos de trabajo.

4.1.3.4 Teoría de las restricciones (Theory of constraints)

La teoría de las restricciones tiene como objetivo de mejorar los ingresos de las empresas en el corto y largo plazo.

La base de la Teoría de las Restricciones es que todas las trabajos consisten en realidad en una gran cadena de actividades y recursos interdependientes (maquinas, equipos, materiales) pero solo algunos limitan o condicionan que el proceso continuo volviéndose estos en “cuellos de botella.

Todo proyecto en la búsqueda de aumentar las utilidades debe identificar y eliminar restricciones de forma sistemática. Para lo cual se propone el siguiente proceso:

Primer paso será identificar las restricciones del proyecto o en todo caso cualquier trabajo que tenga una secuencia de actividades que necesiten recursos.

El segundo paso será decidir cómo explotar las restricciones del proyecto o trabajo al máximo.

Tercer paso realizar todas las acciones necesarias para poder explotar las restricciones.

Cuarto paso levantar las restricciones de un proyecto o de un trabajo a realizar

Quinto paso y último será volver al primer paso para otra vez encontrar las restricciones y repetir logrando así una mejora continua.

Para poderlo explicar se tiene que imaginar una tarea en la que se sigan actividades que sean consecutivas, la idea es encontrar cual es la actividad de esta tarea que sea la que mayor tiempo requiera, sabiendo cual es esta actividad se estudia cómo se puede hacer para reducir su tiempo lo máximo posible. Decidiendo que métodos se van a utilizar para reducir el tiempo de esta actividad, estos se ponen en marcha, de esta forma el tiempo de la actividad se verá reducido.

Al haber variado el tiempo de esta actividad, el tiempo de toda la tarea se habrá reducido generado automáticamente mayor utilidad. Luego se tendrá que volver a encontrar cual es la actividad de mayor tiempo de duración, si ahora es otra la actividad que tiene una mayor duración (nuevo cuello de botella) se le aplicara el mismo procedimiento, en todo caso si la actividad de mayor tiempo sigue siendo la misma se volverá a repetir el procedimiento para seguir reduciendo el tiempo lo máximo posible con lo cual se optimizara la producción.

CAPITULO 5

5.1 Estudio de programación:

5.1.1 Descripción de la metodología de programación de las partidas analizadas

El tipo de programación que se utilizó en la construcción de la presa fue el método de programación maestra por hitos, esta es realizada previa al inicio de los trabajos fue modificada durante el transcurso de los mismos sin tomar en cuenta un formato estandarizado para controlar la programación y analizar de acuerdo a lo programado y que debíamos hacer, que restricciones no nos permitían lograrlo. Se habla de un formato para poder trabajar varios en equipo.

Los errores cometidos y los gastos extras ocasionados por este tipo de programación fueron grandes sin control detallado. Lo más lamentable de esto es que no se analizó en el momento cuanto eran las pérdidas que se estaban ocasionando control de costos acumulado a la fecha, ya sean en tiempo, por materiales, lo que se convierten en pérdidas monetarias. Al no cuantificar las pérdidas no se tomaban medidas para corregir los errores que ocasionaba la falta de programación en cambio se continuaba con la programación maestra y no se aplicaba ninguna herramienta más actualizada de programación de obras causas de incumplimiento que se analizan en una reunión específica.

Para esto evaluaremos el impacto de la programación de las partidas más influyentes en el costo de la construcción y la metodología será en base a las ideas previamente expuestas de Last Planner, Just In Time (JIT) y construcción sin pérdidas.

Primero analizaremos cuales herramientas se podrían haber usado en cada una de las partidas, ya que todas las herramientas no se pueden utilizar en por tener diferentes procesos, en los cuales no se podrían aplicar.

Luego en el momento de conocer cuales herramientas se podrían utilizar para cada una de las partidas, las aplicaremos creando un escenario de cómo se podrían

utilizar. Después de aplicar las herramientas en las partidas analizaremos como podrían haber variado los procesos constructivos y el impacto que hubiesen tenido en los tiempos, en materiales, en el costo y en la construcción en sí. Con esto trataremos de calcular cuánto de beneficio económico hubiera existido si se utilizaban las nuevas herramientas de gestión. Con esto sacaremos las conclusiones y recomendaciones para una construcción eficiente y eficaz en una presa.

Las partidas estudiadas serán:

- 1.- Movimiento de Tierras: la cual dentro de ella están las subpartidas excavaciones en material aluvial, material suelto, en roca suelta y en roca fija.
- 2.- Rellenos: dentro de esta partida encontramos las subpartidas
 - 2.1.-Capa Material Impermeable y los trabajos son preparación, carguío y traslado tanto para el material fino como para el granular y luego la preparación y relleno del material impermeable GC.
 - 2.2.-Delantal Material Impermeable y su Uña: En esta partida tenemos los trabajos de preparación, carguío y traslado tanto para el material fino como para el granular y luego la preparación y relleno del material impermeable GC.
 - 2.3.-Filtro Sobre Delantal para lo que se requiere la preparación carguío, traslado y colocación del material filtro.
 - 2.4.-Relleno Cuerpo de Presa
 - 2.4.1.-Relleno con Material Gravo Arenoso
Preparación, carguío, traslado y relleno de material gravo arenoso.
 - 2.4.2.- Filtro Debajo de Pantalla Impermeable
Preparación, carguío, traslado y colocación de Material de Filtro
 - 2.4.3.-Relleno con Material Impermeable- Pantalla en Talud y su Dentellón
Preparación, carguío, traslado del material fino y granular y luego la preparación y relleno con material impermeable GC.
 - 2.4.4.-Geotextil y Geomembrana
Colocación de geotextil y geomembrana rugosa
 - 2.4.5.-Filtros (Talud Aguas Arriba y en Prisma Enrocado)
Preparación, carguío, traslado y colocación del material filtro.
 - 2.4.6.-Prisma de Enrocado y Drenes
 - 2.4.6.1.-Prisma de Enrocado en Pie de Talud Aguas Abajo

Selección y acopio de piedra, carguío traslado y colocación y acomodo de piedra seleccionada.

2.4.6.2.-Proteccion de Talud

-Capa de Protección Talud Aguas Arriba

Selección y acopio de piedra, carguío, traslado y colocación, y acomodo de piedra seleccionada.

-Capa de Protección Talud Aguas Abajo

Selección y acopio de piedra, carguío, traslado y colocación, y acomodo de piedra seleccionada.

En el ANEXO 3 se encontriran los análisis de precios unitarios estudiados en la tesis.

5.2 Programación de la obra

Variantes y análisis económico de la programación de la obra

5.2.1 Movimiento de tierras:

Como se dijo antes la única programación que se realizó fue la programación maestra y esta a su vez fue realizada bajo rendimientos conocidos previamente por la empresa, con estos y las cantidades de material que se iba a excavar y eliminar tenemos el tiempo.

Este tiempo en la programación maestra para el movimiento de tierras fue de 68 días tomando en cuenta todas las subpartidas que esta tiene.

Ahora para disminuir los tiempos lo que podríamos mejorar es el rendimiento de las maquinas de las cuales depende en su mayoría, para hacer esto tendríamos que alquilar maquinaria de mayor capacidad o tener más maquinas para la excavación y la otra opción es que el carguío en los volquetes para la eliminación sea más eficiente. Para cada una de las subpartidas analizaremos cual será la mejor opción.

Dentro de la partida movimiento de tierras tenemos:

- Excavación de material aluvial:

En esta subpartida tenemos un rendimiento de 450 m³/DIA, y para este trabajo solo estaba encargada una excavadora sobre oruga de 250HP la cual según lo programado tendría que realizar el trabajo durante los 68 días de trabajos de movimiento de tierras.

Para mejorar el tiempo podríamos alquilar una maquina de mayor capacidad la cual tendría que ser una excavadora con oruga de más de 250HP, lo cual aumentaría el precio 150 soles a los 300 soles de alquiler de la que se utilizo. Analizando el costo-beneficio encontramos que el rendimiento aumentaría un 30% lo cual nos dejaría con un tiempo de 585 m³/Día pero el precio sufriría un aumento de 50% por lo cual en el análisis de precios unitarios tenemos que aumentado la capacidad de la maquina el costo por m³ sería de 6.2 soles, mientras que antes teníamos un costo por m³ de 5.37 soles. Otro factor es que al tener más capacidad la maquina también aumentaría de tamaño considerablemente, lo cual generaría un problema para su transporte y tendría menos movilidad en las zonas de poco espacio de la presa. Por lo que el aumento del costo sería mayor que el beneficio del tiempo.

Por otro lado si aumentamos el número a dos excavadoras en el análisis de precios unitarios tendremos un costo por m³ de 8.02 soles y de igual manera termina siendo mayor el costo que el beneficio por el transporte, el consumo de la maquina y los mantenimientos.

Por lo que nos queda optimizar el proceso de eliminación del material que se excava por la maquina utilizando las herramientas de Just in Time. Al momento de que la excavadora iba excavando los camiones estaban esperando para ser cargados e ir a eliminar el material, por lo que se perdían muchas horas de espera de los camiones y en el momento que la excavadora los cargaba a todo, había un tiempo de aproximadamente 30 minutos en el que los camiones todavía no regresaban y la excavadora tenía que seguir excavando, dejando el material en un costado, y en el momento que estos regresaban la excavadora regresaba y cargaba en los camiones el material que ya había excavado.

Si queremos aplicar primero el Just In Time podríamos haber conversado con los conductores de los camiones para que comiencen su labor minutos antes de lo normal y concluya antes. Este plan seguiría un sistema, los camiones entrarían antes de tiempo dejando entre cada uno el tiempo en el que la excavadora se demora en cargar a cada uno de estos así sucesivamente hasta que el ultimo comience a la hora normal de trabajo así no tendríamos horas de espera lo cual nos traerá grandes beneficios económicos también aumentaríamos el rendimiento diario. Luego este rol de entradas y salidas se podría ir cambiando para que los conductores pasen por cada uno de los distintos horarios. De esta forma eliminaríamos perdidas por espera, por movimiento y por sobreproducción.

En la partida de Movimiento de Tierras tenemos las subpartidas excavación en Material Suelto, en Material Aluvial Bajo Agua, en Roca Suelta y en Roca Fija.

Para todas estas subpartidas se podría utilizar la misma herramienta que se ha descrito anteriormente, con ciertas diferencias, ya que al ser diferentes materiales los rendimientos van cambiando.

En lo que se puede sacar provecho es en la subpartida de excavación de material suelto dado que para esta también se utilizó un cargador frontal el cual realizaba el carguío de material a los volquetes muy rápidamente y tenía que esperar hasta que la excavadora extraiga más cantidad de material y que los volquetes regresen. De igual forma aplicando el Just in Time este cargador podría haber cargado más material, de las otras excavaciones que se estaban realizando paralelamente, mientras esperaba a realizar la carga del material suelto, de esta forma también las otras subpartidas reducirían su tiempo y el beneficio económico sería considerable.

En una vista en General de la partida Movimiento de Tierras:

Podríamos haber utilizado algunas herramientas pero primero tenemos que definir como ha sido la programación de esta partida.

Como ya se dijo esta partida tiene un tiempo de 68 días, de los cuales en los 68 días se realizarían las Excavaciones de Material Aluvial, en este tiempo la Excavación de Material Suelto, en paralelo con la Excavación de Material Aluvial Bajo el Agua, comenzara después de 30 días de iniciado los trabajos y duraran 20 y 10 días respectivamente. Después de terminar la excavación de material aluvial Bajo el Agua se iniciara la excavación en Roca Suelta y en Roca Fija con una duración de 28 y 6 días respectivamente.

Con esto observamos que la partida que más influye en el tiempo en este trabajo es la Excavación de Material Suelto, aplicando la teoría de restricciones a este proceso lo primero que tendríamos que hacer es encontrar el cuello de botella entre sus actividades las cuales son la excavación, el carguío y la eliminación.

Según lo mencionado anteriormente el cuello de botella vendría a ser la eliminación del material, ya que los volquetes regresaban cuando ya había material excavado.

Por lo tanto entre las ideas esta aumentar el número de camiones lo cual generaría que cuando todavía haya algún camión cargando los camiones empiecen a llegar, lo cual pasaría la restricción a la excavación la cual se convertiría en el cuello de

botella, por lo que otra vez tendremos que hacer todos los pasos de la teoría de restricciones.

El ideal para esto es que exactamente en el momento que se termino de cargar el último volquete el primero en regresar este en ese momento listo, no antes ni después.

5.2.2 Para la partida de Relleno

5.2.2.1 Para las Subpartidas de Capa Material Impermeable-Base de Presa, Delantal Material Impermeable y su Uña Final y el Filtro Sobre el Delantal

Estas subpartidas tienen mucho parecido para lo cual las trataremos de resolver de una manera similar. Para estas Subpartidas de Relleno lo primero que podemos aplicar es el Just In Time, ya que en la programación maestra los trabajos de preparación, carguío y traslado de los diferentes materiales que se necesitan para estos rellenos, se comenzaron en conjunto con las excavaciones de la partida Movimiento de Tierras, por lo que tuvieron que estar cubiertos y cuidados estos materiales, hasta que terminen las diferentes excavaciones, ya que recién después de terminar estas se relleno con el material preparado.

Aplicando Just In Time, la preparación de los materiales necesarios para estos rellenos se habrían hecho según se podía dependiendo de las excavaciones, para que los rellenos se realicen sin que el material haya estado almacenado durante un buen tiempo, con esto se habrían ahorrado dinero eliminando las perdidas por almacenamiento y protección del material preparado y él se hubiese tenido el material en el momento que se necesitaría.

Pero para lograr esta efectividad con este método hubiese seria importantísima la programación intermedia y diaria. Realizando un correcto Look Ahead se podría haber ido sabiendo el día exacto en el que los trabajos de preparación del material para el relleno deberían comenzar para que no pase que el material esté listo antes ni mucho menos después de ser requerido.

Con el Look Ahead y ya teniendo rendimientos más reales de obra se podría haber previsto cuando se iban a acabar las excavaciones y así conocer el inicio de las preparaciones para el relleno de la Capa Impermeable-Base de la Presa, del Delantal y de la Uña y Filtro del Delantal.

La programación diaria también hubiese sido indispensable para no cometer errores que generen más pérdidas de las que se genero realizando la preparación de materiales antes de ser necesaria. Con esta programación diaria el día en el que se hubiesen comenzado los trabajos hubiera sido exacto para que el relleno comience en el momento justo que terminaron las excavaciones respectivas.

5.2.2.2 Relleno Cuerpo de Presa:

Relleno con Material Gravo Arenoso, Filtro Debajo de Pantalla Impermeable y Relleno con Material Impermeable- Pantalla en Talud y su Dentellón:

Las subpartidas a las que hacemos referencia ahora, aparte de tener el mismo procedimiento están íntimamente ligadas, pues tienen que avanzar a la par una de otra.

Estas serán realizadas durante 353 días, estos trabajos están divididos entre la preparación, carguío, traslado y el mismo relleno. En el parte de la preparación, carguío y traslado encontramos los mismos problemas que se encuentran en los anteriores puntos siempre la preparación tiene un mayor rendimiento que el que tuvo el carguío y el transporte lo que siempre genero que existan acumulaciones de material que tenían que ser almacenados generando costos que no fueron presupuestados necesariamente.

De todas formas en este aumentando el rendimiento de esta parte no reducirá el tiempo de la actividad ya que el cuello de botella no se encuentra ahí. No obstante se pueden hacer algunas mejoras para que en esta parte no se generen perdidas por sobre stock, por sobreproducción o por espera según nos indica la herramienta del Just In Time. Una de estas soluciones es que la preparación se haga cuando se requiere en el relleno y no antes, así podríamos entregar el material en el momento necesario, haciendo esto en algunos días la producción del material de relleno va a tener que detenerse y en esos días las maquinas pueden realizar algunas otras tareas dentro de la obra, ya que del modo que se hizo, el rendimiento de preparación del material era bajo, por lo mismo que el operador sabía que no había apuro y de esta forma se estaba perdiendo una gran cantidad de horas maquina sin darse cuenta , simplemente porque el operador regulaba su rendimiento para pasar el tiempo.

El cuello de botella esta en el relleno del material es por esto que según la teoría de las restricciones lo primero que tendríamos que buscar es la manera de reducir los tiempos en el relleno del cuerpo de la presa para esto se tendría algunas soluciones:

Primero se podría intentar usar la herramienta de trenes de trabajo, que es una de las herramientas del sistema de Gestión Last Planner. Para esto la presa la hubiese dividido en dos partes una hacia el margen derecho y otra hacia el margen izquierdo.

Esto lo realizaría ya que como habíamos explicado el procedimiento antes, en líneas generales se requiere de un tractor que esparza el material, un compactador pata de cabra para que comience la compactación y un compactadora lisa que compacte aun más.

Bueno la idea básicamente es que como la compactadora lisa tiene que entrar después de la compactadora pata de cabra, entonces en el momento que comience el tren a funcionar se trataría que los volquetes que vienen a con el material lo dejen, este sea nivelado con el tractor y la motoniveladora solo hasta la mitad de la presa antes del comienzo de la jornada laboral así cuando comience la jornada laboral en ese momento la compactadora pata de cabra empiece compactando esa parte, mientras la otra mitad, la que ya fue compactada por la pata de cabra, empiece a ser compactada por la compactadora lisa, así tendremos nuestro tren de trabajo que es muy probable que mientras se esté a menos o mas altura de la presa se tenga que dividir en más o menos áreas para realizar el trabajo, pues las áreas van a ir variando dependiendo de la altura que se tiene de presa.

La división sería la siguiente para este caso de dividir el área en dos:

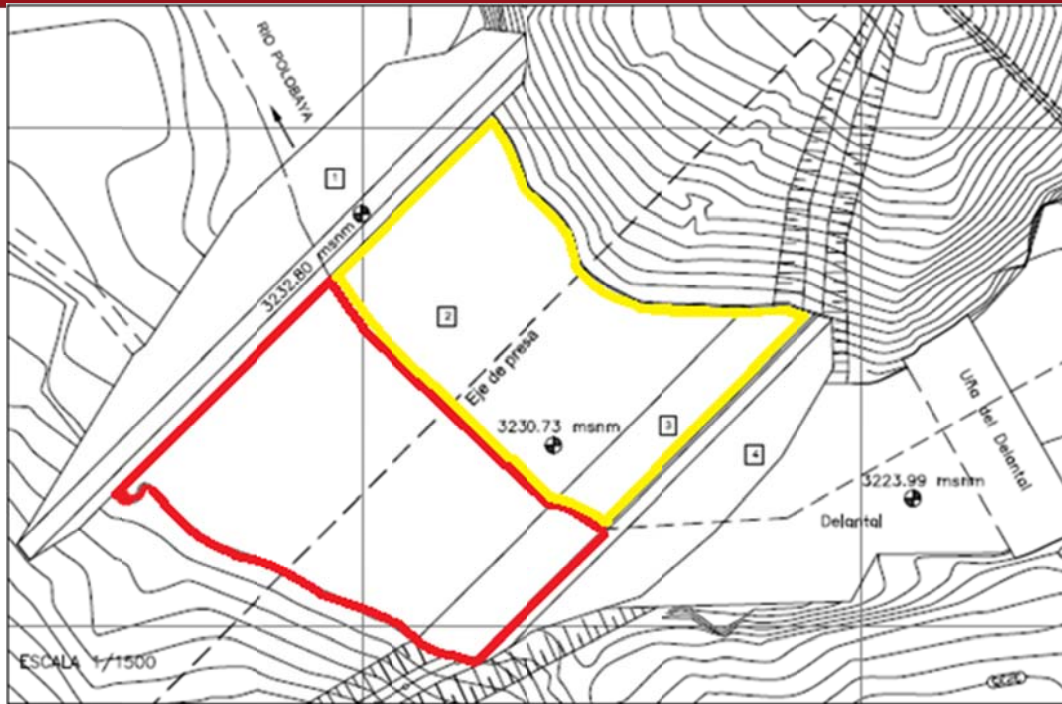


Figura 19: División Para el Ejemplo de Tren de Trabajo

Fuente: Gerencia Regional de Infraestructura (2005) (Elaboración Propia)

Por esto supongamos que llegamos a lograr tener un rendimiento uniforme de medio día de compactación por cada compactadora, en este caso tendríamos que por día lograríamos una capa compactada y lista para la siguiente capa y la forma sería la siguiente:

Tabla 3: Sin Tren de Trabajo (Relleno Cuerpo Presa)

	Día 1				Día 2				Día 3				Día 4				Día 5				Día 6			
Capa 1	A1	A1	A1	A1																				
Capa 2					B1	B1	B1	B1																
Capa 3									C1	C1	C1	C1												
Capa 4													D1	D1	D1	D1								
Capa 5																	E1	E1	E1	E1				
Capa 6																					F1	F1	F1	F1

Compactadora Pata de Cabra ■
 Compactadora Lisa ■



Fuente: Elaboración propia

Si así fueran los rendimientos y la forma de trabajo tendríamos seis capas después de haber trabajado durante seis días obviando algunos detalles.

En cambio si aplicáramos el tren de trabajo haciendo muchos ajustes y tratando de cuadrar rendimientos lo cual es muy difícil pero en una situación ideal tendríamos que:

Tabla 4: Con Tren de Trabajo (Relleno Cuerpo Presa)

	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Día 5		Día 6		
Capa 1	A1	A2											
		A1	A2										
Capa 2			B1	B2									
				B1	B2								
Capa 3					C1	C2							
						C1	C2						
Capa 4							D1	D2					
								D1	D2				
Capa 5									E1	E2			
										E1	E2		
Capa 6											F1	F2	
												F1	F2

Compactadora Pata de Cabra 
 Compactadora Lisa 

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver tenemos ahora que el trabajo nos demoraría un tiempo de cuatro días y medio, está claro que esto es en una situación ideal pero eso es a lo que nos obliga la herramienta del Last planner. Se puede notar la diferencia que en una semana sacamos una ventaja de día y medio utilizando este método.

Si llegáramos a lograr los rendimientos perfectos esta herramienta generaría una mucho mayor ganancia, ya que realmente lo único que estamos haciendo es que el proceso cambie realmente no se aplica ninguna técnica ni mas maquinaria, lo único que haríamos es ajustar un poco los rendimientos y los recursos para lograr que todos los procesos estén parejos así funcionan al ritmo que queremos.

Esto aparte de mejorar los tiempos, lograría que la programación se mejore de una manera sustancial para la construcción, ya que se reducirían las variables que existen y haría que todos las programaciones sean más reales propiciando a que

todo esté controlado y todos los recursos necesarios estén en el momento en el que sean requeridos, por esto el sistema de gestión tiene varias herramientas que se tienen que complementar y así producir un mejor resultado.

Complementado los trenes de trabajo con el Look Ahead y la programación diaria se lograría una optimización de los procesos lo cual generaría una mayor ganancia, por el hecho de que los tiempos se acortarían, no existirían incertidumbres en el avance de la obra. También la teoría de restricciones estaría en el límite ya que al crear este flujo en la que todos los procesos tengan el mismo rendimiento no existirán cuellos de botella y se eliminarían todas las pérdidas que se tratan de mitigar en la construcción.

Geotextil y Geomembrana:

Inicialmente esta partida se programo para que vaya a la par del crecimiento de la presa, lo cual cambio por completo en el momento de realizar el trabajo, pues se vio que el proceso constructivo de colocar el geotextil y la geomembrana se facilitaba al final de realizar todo el relleno del cuerpo de la presa. Esta decisión fue tomada por el residente de la obra para facilitar todo, en este caso se puede decir que se aplico la teoría de las restricciones, porque la secuencia de esta actividad como se explicó anteriormente es:

Primero se tiene que terminar el relleno del cuerpo de la presa, luego de esto tenemos que emparejar un material, diferente al del cuerpo de la presa, que va encima del talud para la protección del geotextil. Terminando estas actividades se puede recién colocar el geotextil y la geomembrana.

Entonces es claro que la actividad de instalación de la geomembrana es la que demora mucho menos que el relleno de la presa, por lo cual si se hubiese hecho si la instalación de la geomembrana a la vez, hubiéramos tenido una gran cantidad de tiempo perdido por espera.

Lo más importante es que para la instalación del Geotextil y la geomembrana se necesita personal capacitado en el tema, personal que es muy costoso, y al cual se le hubiese tenido que pagar de todas formas en los momentos que esperarían para hacer su trabajo dependiendo del avance del relleno.

De igual modo se tendrían que haber previsto los recursos que son demandados cada cierto tiempo y se tendrían que detener otros trabajos, que se realizaban en la parte superior de la presa, para que este trabajo se realice, lo que sigue generando más pérdidas. Por otro lado los rollos de la geomembrana y el geotextil son rollos de gran longitud, por lo que se hubiese tenido que ir cortando, dependiendo del avance, lo que genera un trabajo extra que tendría otro costo mayor. Por último está implícito que al haber más corte se tendría una mayor longitud de pegado ya que se nos cobraba por metro lineal de pegado.

En cambio haciendo la modificación de la programación hecha inicialmente, se reducirían todas las pérdidas que en líneas superiores se mencionan. La forma de trabajar logrando un cero de pérdidas es que si en el relleno se hubiese aplicado las herramientas que se explico, todo se facilitaría ya que sabríamos exactamente en qué día necesitaríamos que lleguen los expertos y los materiales que ello necesitan para hacer el trabajo de la instalación del geotextil y la geomembrana.

Por lo que volvemos a mencionar que es imprescindible hacer la programación a mediano plazo como el Look Ahead, ya que si queremos que el material llegue en el momento justo en el que lo necesitamos, así eliminamos las pérdidas por almacenamiento y guardianía, el pedido se tiene que ser con una de semana anticipación. Otro punto importante de este tipo de programación es que el personal contratado especialista en este trabajo no hubiese tenido tiempos muertos y estarían el mínimo intervalo posible para completar su tarea ya que no dependerían de nada al no tener ninguna restricción, llegarían en el momento justo que se les necesita así aplicamos el Just In Time, lo que eliminaría las pérdidas en esta actividad.

Ahora hablando estrictamente de la instalación de la geomembrana y el geotextil se puede decir que el proceso que se utilizo para este trabajo podría haber sido mejorado con las técnicas del sistema de gestión Last Planner.

El tema está en que primero las excavaciones necesarias para la protección del la geomembrana y geotextil podrían haberse realizado antes que los expertos lleguen, para que cuando estén, solo se dediquen a instalar y no existan pérdidas por espera.

Segundo el material se podría haber pedido y colocado antes que lleguen estos expertos, que su especialidad era el pegado de las geomembranas y geotextiles con equipos especiales, pero el tendido era un proceso sin mayor complicación, pero por no prever esta situación en el momento que los expertos estaban se comenzó con la instalación por lo que ellos primero tenían que esperar a que se tendieran las geomembranas para ellos poder pegar las membranas. De todas formas ellos hacían algunas indicaciones en el proceso de tendido, pero estas indicaciones se podrían haber hecho por medio telefónico previo a la llegada.

Por último el trabajo consistió en tender toda la membrana y luego recién comenzar con el pegado y luego de esto otra vez se comenzaba con el tendido del geotextil, después de terminar el tendido se procedía al pegado.

Suponiendo que para la instalación de seis membranas a lo ancho de la presa y siguiendo el proceso que se siguió el tiempo sería de ocho días para la instalación de todas, si es que en un día tendemos seis membranas y en tres días se hace todo el pegado, el esquema sería así:

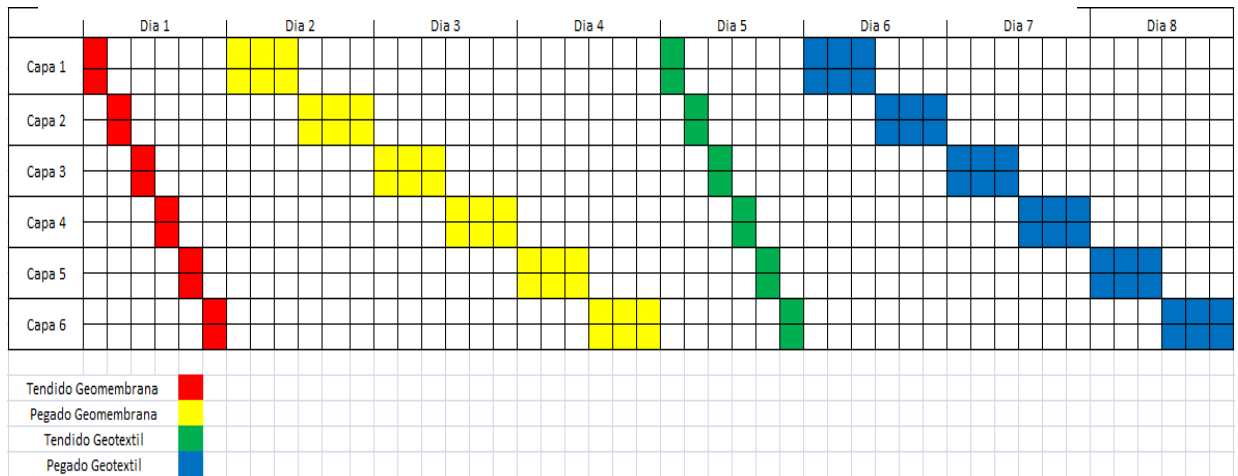


Figura 20: Sin Tren de Trabajo (Instalación Geomembrana)

Fuente: Elaboración Propia

Pero aplicando un tren de trabajo podríamos haber mejorado mucho los tiempos, de la siguiente forma:

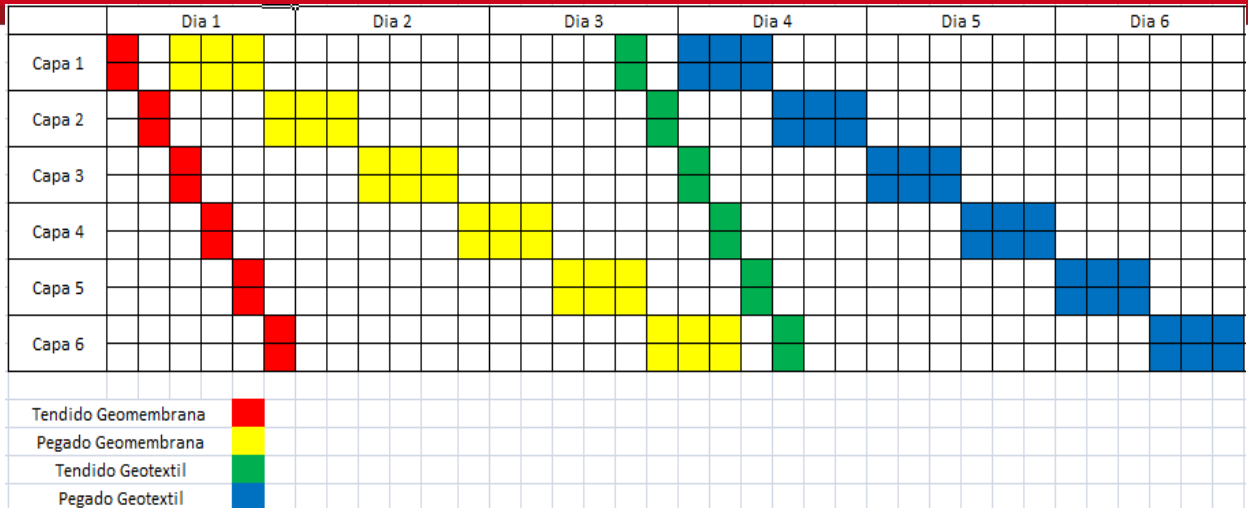


Figura 21: Con Tren de Trabajo (Instalación Geomembrana)

Fuente: Elaboración Propia

Por lo que tendríamos un ahorro de dos días respecto al anterior proceso lo cual nos generaría mayor ganancias al reducir tiempos, que es a lo que apunta el sistema de gestión Last Planner. Este es un ejemplo con tiempos asumidos así nos podemos dar la idea de cómo sería el concepto aplicado a la represa, pero es muy probable que para la primera instalación de la membrana se cometan mucho errores en la planificación y el tren de trabajo, porque las áreas recubiertas por la membrana son distintas, es por esto que sería importantísimo tomar nota de los rendimientos y los tiempos, así en la segunda capa de membrana se puede aplicar con exactitud el tren de trabajo, pues tendrían que ser los mismos tiempos y los mismos rendimientos.

Filtros (Talud Aguas Arriba y en Prisma Enrocado) y Prisma de Enrocado en Pie de talud Aguas Abajo:

Estas dos partidas tienen el mismo proceso constructivo por lo cual vamos a tratar de buscar una forma común de aplicarles las herramientas de Last Planner y Just In Time.

El proceso para estas dos como se indico antes era que los camiones dejaban las rocas de mayor tamaño en la zona en la que iban a ser los prismas de enrocado, luego de esto un tractor pasaba encima del material esparciendo y dejando parejo a

la vez que funcionaba como compactador del material. Posteriormente se dejaban rocas de menor tamaño que trataban de ocupar los espacios que dejaban las rocas de mayor tamaño y otra vez pasaba el tractor esparciendo el material de cierta forma compactándolo y por último una excavadora utilizaba su brazo hidráulico para dejar material donde se necesitaba o trataba de dejar los perfiles más parejos.

Inicialmente se había presupuestado y planificado que el trabajo de la colocación y acomodo de la piedra seleccionada lo iba a realizar una excavadora sobre oruga, el rendimiento utilizado para el análisis de precios unitarios fue de $200 \text{ m}^3/\text{Día}$, pero en el momento de la obra se tomo la decisión que el trabajo lo debería hacer un tractor D-8, el cual realizo el trabajo en mucho menor tiempo ya que la capacidad de su pala era mayor a la de la excavadora.

Esto fue haciendo lluvia de ideas ya que en cuando se comenzó a realizar el trabajo del prisma de enrocado de aguas abajo se noto que en esa subpartida la actividad Cuello de Botella era la colocación y acomodo del material, ya que los camiones llegaban con el material más rápido de lo que la excavadora terminaba su trabajo y el material se tenía que ir acumulando.

Entonces se vio la opción de que el tractor haga el trabajo, la única diferencia es que el propio tractor hacia el ingreso a la superficie del prisma de enrocado por un costado utilizando el material del cerro, y la forma en la que esparcía el material era mucho más rápida, el rendimiento de la colocación y acomodo de material con el tractor se volvió de aproximadamente $260 \text{ m}^3/\text{Dia}$, es por esto que la restricción se levanto y con la ayuda del tractor la restricción paso a ser el traslado del material, que en el análisis de precios unitarios tiene un rendimiento de $240 \text{ m}^3/\text{Dia}$, puesto que el tractor terminaba el trabajo antes de que llegue mas material con los volquetes.

Ahora se podría haber pensado en aumentar el número de los volquetes, ya que esta se convirtió en la restricción pero se prefirió que en el tiempo que el material se demoraba en llegar el tractor haga un mejor emparejamiento y se tome un tiempo más para esto esperando a lo que venía de material. Por esto la teoría de las restricciones a cabo en esa actividad.

Con esto se puede decir que en esta actividad se aplico el Just in Time, ya que el material que llegaba se colocaba y se acomodaba en ese mismo instante y de igual forma el material se cargaba en los volquetes en el mismo momento que llegaban para cargar, así no solo se eliminaron muchas pérdidas si no que se aumento el

rendimiento de la actividad y se gana una buena cantidad de tiempo, obteniendo un producto de inclusive mejor calidad.

Por otro lado para este caso en especial de trabajo la planificación diaria es muy importante sobre todo en las actividades de las canteras ya que tendrían que haber producido el material necesario para el rendimiento que entregaba la colocación y el acomodo, es por esto que se tenía que planificar a diario cuanto material se necesitaba para no tener excesos y en ningún momento una falta de material.

En cuanto al tren de trabajo en este caso no se podría haber utilizado ya que este hubiese necesitado por ejemplo de otro tractor para poder avanzar en los dos zonas lo cual no era muy conveniente por que el costo aumentaría mucho y el rendimiento que entrega un solo tractor es muy bueno, también se hubiese tenido que doblar el número de volquetes encargados de llevar el material lo cual hubiese generado un sobre costo que no era productivo balanceando con el beneficio que entregaba este alto rendimiento.

Protección de Talud (Aguas arriba y aguas abajo):

En este trabajo podemos decir que es muy difícil mejorar los rendimientos ya que estos son realizados enteramente a mano, el acomodo de las piedras tiene que ser perfecto, no podía haber una piedra sobre la otra y todas tenían que cuadrar entre sí, pero de todas formas analizaremos bajo el punto de vista de las herramientas de Last Planner y Just In Time.

La actividad sigue la secuencia siguiente:

Primero se tiene que seleccionar y acopiar el material luego cargarlo y transportarlo hasta la zona de trabajo y luego de esto comenzar el acomodo de manera manual.

Bajo la teoría de las restricciones podemos decir que sin lugar a duda que la actividad Cuello de Botella es el acomodo manual de las piedras seleccionadas, entonces que opciones se tendrían para poder aumentar el rendimiento.

Primero tenemos que reconocer que el acomodo de las piedras es en una pendiente por lo que se tiene que cargar las piedras de subida o de bajada para colocarlas, entonces lo primero que se puede pensar es que los volquetes dejen el material a lo largo de la parte superior e inferior de la presa, así mientras se va avanzando se puede encontrar material en la zona que se va trabajando, pero en la

zona central de la presa la distancia es muy grande para cargar las rocas es por esto que en ese momento se podría pensar en que una excavadora sobre oruga con su brazo hidráulico trate de dejar el material lo más cerca posible de la zona de acomodo, así el personal no tiene que subir hasta la parte superior ni recoger material desde la parte inferior.

De esta forma reduciríamos de manera considerable el tiempo de transporte de las piedras por el personal solo con algunas horas de maquina lo cual es un gran beneficio.

Otra forma de aumentar el rendimiento de acomodo de la piedra seleccionada para protección del talud seria aumentar el número de hombres encargados del trabajo lo que no es muy factible ya que el rendimiento iba aumentar muy poco a comparación del gasto que se iba a hacer, porque el problema no está en el acomodo en sí, si no en el transporte del material que hace el trabajador hasta el lugar de acomodo.

Realizando este paso con la ayuda de la excavadora sobre oruga de todas formas el cuello de botella estuvo en el acomodo del material, por lo que es hasta lo máximo que podemos llegar con el análisis bajo la teoría de restricciones.

Las otras herramientas no sirven de mucho en este trabajo ya que el rendimiento del acomodo de la piedra seleccionado es muy bajo por lo que es muy fácil predecir que va a pasar con el trabajo y si en caso empezaba a faltar material en ese momento se podía empezar a traer más y aun así el material llegaría antes de que se acabe por lo que de todas formas la planificación sería importante pero si se cometería algún error en el camino habría tiempo suficiente para resarcirlo y las perdidas no serian grandes.

De todas formas esta parte de la planificación sería importante en la parte en la que el trabajo está por terminarse, ya que en la construcción por no planificar se proceso más material del necesario por no llevar la planificación diaria, lo que genero algunas pérdidas de material.

5.3 Conclusiones y Recomendaciones

A modo de conclusión podemos referir que las herramientas Last Planner, Just in Time y la Teoría de las Restricciones son muy importantes si se desea aumentar las ganancias de una manera en la que no se comprometa la calidad del producto a entregar.

Con una correcta programación se podría haber eliminado una gran variedad de tipos de pérdidas que se generan simplemente ya sea porque se esperó un tiempo demás o porque las cosas estuvieron listas antes de ser necesarias teniendo que ser almacenadas, cuidar de estas o simplemente pagar por el tiempo de espera. Por ejemplo en la presa en el momento que se pidió la geomembrana y el geotextil fue mucho antes de ser necesitados por lo que género que se tenga que crear una zona de almacenamiento para los rollos los cuales no podían estar desprotegidos para que no se deterioren y tampoco para que se tenga un riesgo de robo, ya que estos tienen un alto valor monetario. Tener a alguien vigilando y crear un nuevo ambiente para almacenar estos rollos es un costo que se convierte en pérdida.

El tren de trabajo que se aplica a cualquier tipo de proceso constructivo genera un ahorro de tiempo muy significativo sin la necesidad de cambiar algo en el proceso, solo se acoplan sus rendimientos como para que funcionen en perfecta coordinación. Si se hubiese aplicado esta técnica en la represa en varios procesos como por ejemplo la instalación de la geomembrana, se hubiese ahorrado una gran cantidad de días, pero para esta colocación y para emplear estos métodos se tiene que convencer al especialista (el soldador de geomembrana), que esto funciona y que va a rendir frutos. En nuestro caso el especialista el dispuso de su tiempo y lo hizo en la manera que él creía era la mejor forma, pero ahí está nuestro error como ingenieros que el tiempo y la programación de cómo se tienen que hacer las cosas las tenemos que imponer nosotros a los trabajadores y no dejar que ellos nos impongan sus procedimientos porque todo una vida lo han hecho así. En nuestro caso el especialista convenció al residente de que su forma era la mejor y no la de la programación.

El Look Ahead es también muy importante para poder anticipar que es lo que va a ocurrir con nuestra construcción, en lo que más nos va a ayudar este tipo de programación es que vamos a poder anticipar las restricciones que tenemos en algún proceso así los responsables puedan levantarlas y no se tengan pérdidas en tiempos. De haber usado esta herramienta en la presa podríamos haber anticipado

muchos retrasos en la llegada de los recursos, ya que nuestra presa estaba alejada de la ciudad y conseguir respuesta de urgencia significaba una espera de 1 a 2 días cada vez que se olvidaba algo o por la variabilidad en la construcción de nuestra represa lo necesitábamos antes. Se tuvo pérdidas de un día hasta dos cuando nos ocurrió que un recurso se olvidó, por esto se tuvieron que detener cuadrillas que se tuvieron que distribuir en otros frentes o asignarlos a orden y limpieza.

Se recomienda entonces que en todos los procesos, trabajos y actividades que se realicen no solo en una presa si no en cualquier proyecto de construcción u obra civil, se tienen que tratar de aplicar todas las herramientas que han sido citadas previamente, ya que no solo reducen la carga de trabajo si no que con simples ideas se pueden generar grandes ganancias que al final de cuentas es el objetivo que persigue una empresa. Es importante indicar que haciendo estas modificaciones no se está reduciendo la calidad del trabajo, que es lo que muchas de las empresas hacen para bajar sus costos y acelerar su procedimiento. Pero para poder aplicar estas herramientas se tiene que involucrar a todos los trabajadores incluidos supervisores y capataces, ya que a esto se les tiene que convencer para que esto funcione. En la presa no se convenció al personal directo, lo que hizo que nada de las ideas funcionen en el trabajo por lo que estos lo hicieron a su manera, solo porque nunca se les mostro la planificación que se hacía.

Para poder aplicar estas herramientas de última generación se tiene que tener una mente abierta y una apertura hacia los cambios, ya que de otra forma siempre se encontrara excusas para no aplicar nuevas técnicas que de todas formas son un riesgo puesto que pueden salir mal, pero de ser acertadas las ganancias van a ser mayores. En nuestro caso los trabajadores especialistas, que son los que llevan haciendo el mismo trabajo desde hace mucho tiempo son muy difíciles de hacer cambiar de opinión. En nuestro caso el soldador de geomembrana por mostrar un ejemplo no quería cambiar su forma de trabajo, siempre puso trabas y siempre tenía una excusa, coincidentemente con el tuvimos retrasos grandes, y cuando le preguntábamos si necesitaba mayor personal, siempre decía que con lo que tenía estaba bien. Es en estos casos en el que el residente tiene que imponer su autoridad y sus métodos y no dejarse llevar por todas las trabas del trabajador.

Es muy común que ingenieros que ya están trabajando durante años se resistan a los cambios, porque tienen una manera segura de hacer las cosas que siempre les ha resultado, pero la concepción de estas buenas prácticas es siempre tener una

mejora continua porque mientras más pasa el tiempo todos saben los procesos y las ganancias se van reduciendo, en cambio cuando se innova y producto de esta innovación se obtienen grandes resultados las ganancias aumentan ya que se posee tecnologías que los demás no tienen, no obstante en caso de que no funcione siempre se puede volver al proceso conocido. Cuando yo trate de dar alguna opinión el ingeniero residente en una forma facilista respondía que los trabajadores conocían su trabajo y que no se podía mejorarlos, lo cual es no es verdad en simples casos que he mostrado anteriormente solo con mejorar en un 60% lo que teóricamente obtengo, tendríamos una mejora de días en tiempo, lo que al final se convierte en ganancias económicas.

Otra recomendación es que dado un momento que se cuente con holguras de tiempo los ingenieros deben ser capacitados sobre las herramientas del Lean Construction, ya que para poder aplicarlas y sacar el máximo provecho hay que conocerlas a fondo, ya que si no pueden generar más pérdidas que beneficios. El manejo de estas técnicas abren la posibilidad de mejoras que se creían que no se podían dar, con estas herramientas en los ingenieros jóvenes pueden surgir ideas que ingenieros de mayor experiencia las obtienen simplemente por años de trabajo, por lo que sería ideal que se pueda consultar las ideas nuevas y frescas de nuevos ingenieros que rompen los paradigmas con ingenieros que poseen gran experiencia y que en el momento de conocerlas pueden, gracias a su conocimiento moldearlas de modo que integren un alto rendimiento. La única forma a mi entender de hacer que los ingenieros antiguos cambien y traten de mejorar es con incentivos económicos porque el mayor problema que ellos tienen es que tienen un sueldo fijo y saben que si o si al final del mes van a recibir la misma cantidad de dinero lo cual hace que no traten y no tengan las ganas de mejorar. Según lo que pinso paso en la construcción de la represa este fue el motivo por el cual el ingeniero no quiso darse el tiempo de innovar y mejorar los procesos.

Es recomendable que cuando se surjan nuevas ideas en una construcción se tengan reuniones con los líderes involucrados así con toda la experiencia que tienen ellos en el ámbito aporten con sus opiniones y las mejoras sean aún más sustanciales, con lo que la gente trabajadora al ser parte de la decisión en conjunto este mas convencida de que este tipo de trabajo va a tener frutos, los cuales deben ser compartidos con ellos así se tendrá una mayor aceptación de las nuevas técnicas.

En lo que se refiere a la programación, la sugerencia es que esta sea lo más detallista posible dado que las herramientas necesitan un alto grado de precisión para no cometer ningún error y se generen perdidas grandes, por esto se debe exhortar a que se hagan siempre las programaciones diarias con el resultado del día así no se deja nada al azar, además de elaborar el Look Ahead para observar las restricciones que se van a tener en las semanas siguientes y poder entregar responsabilidades para que estas sean levantadas en el momento necesario de ejecutar el trabajo. Para que estas programaciones sean eficientes es necesario también que se reúnan a todas las cabezas de la construcción para conocer su información. En nuestro caso de la represa los procedimientos eran muy claros no muy complicados por lo que con facilidad se podría haber realizado una programación muy fina, pero aun así no se hizo.



Bibliografía:

Gomez Navarro. J. L y Arecil J. J. Saltos de agua y presas de embalse. 1944.

Grishin M. M. Estructuras Hidraulicas. Tomo 1 Mir. Moscu. 1974.

Marsal, R. Presas de tierra y enrocamiento. 1983

Villamizar C., A. Diseño de Presas de Tierra para Pequeños Almacenamientos, Himat 1989.

Memorandos técnicos varios - Gerencia Regional Arequipa

Debernardo, Héctor. La asignatura pendiente en las Organizaciones.
[www.geocities.com/jgozio/PROD/ Art_TOC_meta_de_las_org.doc](http://www.geocities.com/jgozio/PROD/Art_TOC_meta_de_las_org.doc).

Goldratt, Eliyahu. La meta. Tercera edición. Ediciones Castillo. México. 1994.

Sarache, William. Guía del módulo Gestión de Sistemas Productivos. Corporación universitaria de Ibagué. Universidad central de las Villas. Ibagué. 2003.

Umble, Michael. Manufactura Sincrónica. Primera edición. Editorial CECSA. México. 1995.