

ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y ACARREO DE LOS CONCRETOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN DEL P.H. REVENTAZÓN DEL ICE



Abstract

The project is to establish the location of five concrete plants to optimize resources in the development of construction works within the PHR, from the use of databases, statistics, documentation, proposal and analysis of scenarios looking at the site existing work and through personal interviews. So that the research helped define the location in which the sum of production costs and haulage of concrete are the most profitable.

Keywords: Concrete, optimize costs, production, carries.

Resumen

El proyecto consiste en establecer la ubicación de cinco plantas productoras de concreto para optimizar los recursos en el desarrollo de las obras constructivas dentro del P.H.R., a partir del uso de bases de datos, estadísticas, documentación, propuesta y análisis de escenarios con observación del sitio de trabajo existente y mediante entrevistas al personal. De manera tal que la investigación permitió definir la localización óptima de dichas plantas cuya suma de costos de producción y de acarrees de los concretos fueran rentables.

Palabras clave: Concreto, costos, producción, acarrees.

Análisis del proceso de producción y acarreo de los concretos asociados a la construcción del P.H. Reventazón del ICE

AARÓN RICHMOND SOLERA

**Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción**

Junio del 2011

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Simbología

I.C.E.: Instituto Costarricense de Electricidad

P.H.R.: Proyecto Hidroeléctrico Reventazón

MET: Materiales, Equipos y Talleres.

140-38-2: Diseño de mezcla de concreto de resistencia 140 kg/cm² a los 28 días, con agregado de tamaño máximo de 38.00 mm (1 ½"), número dos (el número 2 después del indicador del tamaño máximo del agregado en el diseño de mezcla significa que es diseñado a 28 días), con cemento puzolánico.

210-38-2: Diseño de mezcla de concreto de resistencia 210 kg/cm² a los 28 días, con agregado de tamaño máximo de 38.00 mm (1 ½"), número dos (el número 2 después del indicador del tamaño máximo del agregado en el diseño de mezcla significa que es diseñado a 28 días), con cemento puzolánico.

280-38-2: Diseño de mezcla de concreto de resistencia 280 kg/cm² a los 28 días, con agregado de tamaño máximo de 38.00 mm (1 ½"), número dos (el número 2 después del indicador del tamaño máximo del agregado en el diseño de mezcla significa que es diseñado a 28 días), con cemento puzolánico.

CLVH 210-13-2: Concreto lanzado vía húmeda. Diseño de mezcla de concreto de resistencia 210 kg/cm² a los 28 días, con agregado de tamaño máximo de 12.70 mm (½"), número dos (el número 2 después del indicador del tamaño máximo del agregado en el diseño de mezcla significa que es diseñado a 28 días), con cemento puzolánico.

CLVS 210-13-2: Concreto lanzado vía seca. Diseño de mezcla de concreto de resistencia 210 kg/cm² a los 28 días, con agregado de tamaño máximo de 12.70 mm (½"), número dos (el número 2 después del indicador del tamaño máximo del agregado en el diseño de mezcla significa que es diseñado a 28 días), con cemento puzolánico.

Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	4
MARCO TEÓRICO.....	6
METODOLOGÍA.....	29
RESULTADOS	30
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	60
APÉNDICES.....	61
ANEXOS.....	70
REFERENCIAS.....	74

Prefacio

El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón contiene distintas obras que requieren de la utilización del concreto para su concepción, entre dichas obras se encuentra la construcción de túneles de desvío, descarga de fondo, presa principal, vertedor de excedencias, toma de aguas, mini central, embalse, conducción y casa de máquinas, dado la cantidad de obras y la magnitud de las mismas (sólo para la presa se estiman necesarios aproximadamente 109000 m³ de concreto) hace que el manejo del factor de costo sea primordial para la optimización del recurso económico en un megaproyecto de millones de dólares.

Es por este motivo que es importante hacer una valoración y planificación adecuada del proceso de producción del concreto desde el momento en que se extraen los materiales del río para la producción de agregados hasta que se entrega el concreto en el sitio de colocación. Para ello es vital el conocimiento de todos los elementos que forman parte de la producción del concreto, como lo son: el agua, la electricidad, el cemento, los aditivos, los agregados, espacios requeridos para el montaje y la operación de la planta, las instalaciones provisionales, la maquinaria, entre otros, al igual que, el acarreo entre la planta y las obras.

La optimización del recurso económico en el costo asociado a los concretos del P.H.R., estará regido por la ubicación de las distintas plantas de concreto, de manera que la producción esté de acuerdo al rendimiento del complejo productivo y que a su vez las distancias de acarreo sean las menores para minimizar el costo del transporte del concreto hacia el sitio de colocado.

La optimización de una estrategia adecuada del proceso de producción del concreto es entonces vital para la consecución de los plazos estimados para la finalización de las obras en busca de cumplir con la fecha de inicio de operación de un proyecto que se espera genere anualmente 1578 GW/h.

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por ser mi guía en el camino de la vida y por brindarme la inteligencia y la entereza para alcanzar esta importante meta.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por darme la oportunidad de estar hoy culminando esta etapa, y por enseñarme que con dedicación, esfuerzo y fe en Dios todo se puede alcanzar.

A toda mi familia y amigos con quienes he compartido alegrías y tristezas, por estar a mi lado durante las distintas etapas de mi vida.

A mi amiga Alejandra Leiva y a los ingenieros Guillermo Leiva y Camilo Vargas, pues gracias a su apoyo tuve la posibilidad de realizar la práctica profesional en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

A la ingeniera Graciela Avendaño, por su guía y colaboración en la realización de este proyecto, así como al personal del Área de Producción de Concreto del Proyecto Reventazón, por crear un excelente ambiente de trabajo.

A la ingeniera Ana Grettel Leandro Hernández, por sus consejos, guía y supervisión durante la realización de este estudio.

Resumen Ejecutivo

La necesidad de suplir la creciente demanda energética del país, así como la búsqueda de generación de electricidad por medio de fuentes de energía limpias, con miras a que Costa Rica sea carbono neutral para el año 2021, motivó al ICE a iniciar la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, ubicado en el cantón de Siquirres, el cual aportará 306 MW de potencia.

Este proyecto hidroeléctrico utilizará para la generación de la energía las aguas del río Reventazón, por medio de la construcción de una presa de enrocado con cara de concreto de 130 metros de altura y que generará un embalse de un volumen total correspondiente a 300 hm³.

Adicionalmente a la presa principal y embalse, otras obras propias de un proyecto hidroeléctrico como lo son: túneles de desvío, toma de aguas, vertedor de excedencias, minicentral, casa de máquinas, subestación, descarga de fondo, conducción, caminos, campamentos y obras civiles; requieren de la utilización del concreto como material constructivo.

El volumen de concreto demandado, por consiguiente, es muy alto. Debido a esto, para la producción del mismo, lo más recomendable es emplear plantas de concreto, las cuales permiten producir grandes volúmenes de concreto en tiempos relativamente cortos.

Para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, el ICE tiene 5 plantas productoras de concreto a disposición.

El presente estudio fue realizado en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón y consistió en determinar las áreas del proyecto que tuvieran la capacidad de albergar una planta de producción de concreto y que, a su vez, no tuviera interferencia con ninguna de las otras obras, para posteriormente analizarlas y seleccionar la ubicación que optimizara los recursos destinados a la producción del concreto. Este trabajo fue de importancia para el Proyecto pues, a partir de una comparación de costos, da

muestras de cuáles sitios son más adecuados para la colocación de unidades productoras, además de que verificó que los rendimientos esperados de cada una de las plantas con que se cuenta es suficiente para suplir los diferentes frentes de trabajo.

Por otra parte, el objetivo general del presente estudio fue optimizar el proceso de producción y acarreo de los concretos asociados a la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Así, se procedió a realizar recorridos a lo largo del proyecto, que permitieran la evaluación de posibles sitios de ubicación para las plantas. También, por medio de entrevistas a personal con experiencia en el campo, se identificaron los elementos necesarios para la instalación de una planta.

Además se estableció entre los objetivos específicos, la realización de flujos de concreto. Para esto se procedió a buscar información con el Departamento de Planeamiento y Control quienes se encargaron de darle el seguimiento de avance al proyecto y que, a su vez, manejan las estimaciones y proyecciones de las diferentes obras que se construyen.

La realización de este flujo permitió determinar la proyección de demanda de concreto en cada una de las obras. A raíz de esto se plantearon alternativas de ubicación de las plantas, ya que su localización también estaba condicionada por la necesidad de ofertar eficientemente la producción requerida.

De acuerdo con las posibles áreas de ubicación se generaron cuatro escenarios que fueron comparados durante la realización de este proyecto.

Para las estimaciones de costos productivos y de acarreo fue necesaria la documentación de costos de maquinaria. Para esto se contactó con el Departamento de Maquinaria. Por otra parte, el Departamento de Planeamiento y Control se requirió para

consultar el costo de activos y el manejo de planillas.

Asimismo fue de vital importancia la consulta de planos de caminos para conocer las distancias entre las obras y sitios de localización de plantas, planteados para cada escenario evaluado. Los planos se consiguieron por medio del Departamento de Topografía.

A partir de la comparación de escenarios, se determinó que la mejor opción era contar con dos plantas en la margen izquierda, ubicadas sobre el camino 12; una en el área cercana al tanque de oscilación y otra en el área del vertedor. Los resultados reflejaron un beneficio en la parte de costo y abastecimiento.

Introducción

El presente trabajo pretende determinar cuál es la localización óptima de las plantas de concreto por ubicar en el P.H.R. que optimice el uso de los recursos del proyecto, tomando en cuenta tanto el costo productivo como el costo de acarreo de los concretos. En ese sentido se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Optimizar el proceso de producción y acarreo de los concretos asociados a la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

Objetivos Específicos

- Identificar los elementos que intervienen en el proceso de producción del concreto.
- Analizar los rendimientos de la maquinaria y del personal.
- Cuantificar los volúmenes de concreto requeridos en las distintas obras del Proyecto. Hidroeléctrico Reventazón.
- Elaborar un flujo de concreto (flujo temporal).
- Elaborar flujos de recursos de mano de obra y materiales.
- Establecer un costo de producción para cada planta de concreto ubicada en el proyecto.
- Proponer la ubicación y tipo de las plantas de concreto así como la cantidad de concreto por utilizar en cada una.
- Optimizar la logística del proceso de producción del concreto.
- Evaluar alternativas para el transporte de agregados de un margen a otro.

El principal problema que se presentó tuvo que ver con las numerosas obras que requieren ser abastecidas de concreto y que presentan distintas ubicaciones dentro del proyecto. Por lo tanto, no fue posible -por disponibilidad de equipo y de espacio- ni fue rentable ubicar una planta de producción para cada una de las obras. Sin embargo, se consideró importante que se estudie dicha problemática y se plantee la cantidad y ubicación adecuada de plantas de concreto, así como también la ubicación del quebrador y el sitio de ubicación de los acopios lote de agregados, de manera tal que se brinde un abastecimiento adecuado a las obras y permita cumplir con los plazos estipulados de conclusión de cada una de ellas y, por otra parte, que todas alcancen un valor $\$/m^3$ que haga rentable el proyecto en su fase constructiva.

Las distancias y tiempos de acarreo del sitio de producción del concreto al sitio de colocación implican un problema en cuanto al manejo de la fluidez requerida por la mezcla. Es de suma importancia, entonces, identificar cuáles son las obras que demandan una mayor producción, así como el manejo adecuado de los ciclos, de manera que el número de chompipas se adecue al rendimiento máximo que permita obtener la planta de concreto.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) cuenta con vasta experiencia en la construcción de proyectos hidroeléctricos. Sin embargo, el P.H. Reventazón constituye todo un reto por tratarse de una presa tipo enrocado con cara de concreto, por lo que los volúmenes de material por utilizar son de millones de metros cúbicos. Estos se obtendrán de la extracción que se realice en el propio río Reventazón. Así, también, esta propuesta se convertirá en el mayor proyecto de generación hidroeléctrica construido en el país con una producción de 300 MW.

Para la construcción de este megaproyecto serán necesarios cerca de 600 mil

metros cúbicos de concreto. Ciertamente, este proyecto constituye todo un reto.

Alcances

El trabajo está enfocado hacia la optimización del recurso económico en la producción de los concretos asociados al P.H.R., razón por la que la valoración se orienta hacia los costos productivos y de acarreo de la actividad.

Por el grado de avance que presenta el P.H. Reventazón, los cálculos se realizaron con base en la información suministrada por el Departamento de Planeamiento y Control y el Departamento de Topografía. Actualmente, están pendientes los diseños definitivos de algunas de las obras y la adquisición de propiedades estratégicas para continuar con la construcción de caminos de acceso. Por lo tanto, se utiliza la programación actual con la cual se cuenta, así como, mediciones estimadas de ciclos de maquinaria y distancias de acarreo. La información disponible abarca planos de caminos, programa maestro, flujo de concreto y control de costos del proyecto.

Por consiguiente, los resultados obtenidos constituyen estimaciones, las cuales están sujetas a diversos supuestos de planeación.

Siendo así, se considera dentro del alcance de este trabajo, la elaboración de una hoja de cálculo que permita modificar aquellas variables consideradas como supuestos, de manera que conforme avance el proyecto se pueda ir ajustando la información.

Limitaciones

No se han terminado de construir todos los caminos de acceso a las obras del proyecto, lo que impide una evaluación más exacta de las distancias por recorrer y los ciclos de la maquinaria.

No se pudo disponer de automezcladoras que hicieran todos los recorridos que generarán los acarreos, con miras a medir los diferentes ciclos de transporte del concreto dentro del P.H.R.

El rendimiento real de las plantas de concreto que se analizan en este trabajo solo

podrá observarse para la planta de concreto que está actualmente en funcionamiento. Por lo cual para las restantes plantas es necesario basarse en su utilización en proyectos anteriores o en datos teóricos.

Marco Teórico

Descripción general del proyecto

El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se localiza en la cuenca media del río Reventazón, aproximadamente 8 km al suroeste de la ciudad de Siquirres (38 km aguas abajo del sitio de restitución de la casa de máquinas de la Planta Hidroeléctrica Angostura). El proyecto aprovechará el potencial energético de este río entre las cotas 265 y 120 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Está constituido por una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD por sus siglas en inglés) que embalsa el agua para transportarla mediante un túnel de 1680 m de longitud y una tubería de presión de 905 m de longitud, hasta la casa de máquinas ubicada en la margen derecha del río.

El proyecto también considera una minicentral ubicada al pie de la presa que aprovechará la descarga de los 15 m³/s correspondientes al caudal de compensación del río.

El Proyecto tiene una capacidad de potencia de 300 MW. La generación media anual es de 1 572,8 GW/h, incluyendo la planta principal y la minicentral; y se espera que entre en operación en el verano del año 2016.

Concreto

“Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”¹.

¹ Comité ACI 318,1995. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05). Capítulo 2.

Agregado

“Material granular como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulicos”².

Aditivo

“Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades”³.

Producción del concreto

En el campo de la construcción son diversos los materiales utilizados para ejecución de las obras. Sin embargo, entre los que mayor demanda tienen, está el concreto por su variabilidad de aplicaciones. Puede ser empleado para construir puentes, represas, edificios y otra gran variedad de obras civiles.

Básicamente para su obtención se tienen como materias primas el cemento, el agua y los agregados (grava y arena). Comúnmente también se emplean aditivos para modificar propiedades como su durabilidad, trabajabilidad y resistencia.

De la misma manera, es posible adicionarle fibras metálicas o sintéticas para aumentar su resistencia a la flexión, en aplicación como revestimientos de túneles con concreto lanzado. Al momento de producir una mezcla de

² Comité ACI 318,1995. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05). Capítulo 2.

³ Comité ACI 318,1995. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05). Capítulo 2.

concreto con la textura y resistencia deseada, más allá de la consecución de estas materias primas, el proceso que debe cuidarse es aquel que permite determinar en qué proporción son añadidos los distintos componentes.

Según el tipo de estructura que requiera del concreto, así van a variar las proporciones de los componentes, generándose entonces diferentes diseños de mezcla de acuerdo con las exigencias que pueda solicitar la colocación del concreto y las características que este debe tener.

Un diseño de mezcla básicamente es el cálculo de las proporciones de los elementos que forman el concreto. Una vez establecidas esas cantidades se debe procurar que en la práctica o en el campo se consigan los porcentajes que el diseño dicta.

En el caso de un proyecto hidroeléctrico como el Reventazón, en donde las obras que requieren de concreto son muchas (cara de la presa, túneles de desvío, plinto de concreto, estabilización de taludes, entre otras) y, a su vez, este se requiere en grandes volúmenes, la mejor opción es contar con plantas mezcladoras de concreto que aseguren una correcta dosificación, ya que estas tienen computadores que permiten obtener los pesos exactos requeridos de cada materia prima, así como también manejan de forma automatizada la maquinaria que hace la mezcla, de manera que se asegure la buena calidad de esta.

Planta de concreto

Esta es un complejo de producción compuesto por distintos equipos, entre los cuales se pueden mencionar tolvas para agregados, básculas, mezclador, cabina de operación, silos para cemento y bandas transportadoras. En la planta de concreto se puede realizar tanto la dosificación de las materias primas de la mezcla de concreto, como su proceso de mezclado.

La planta dosifica por peso, mediante celdas de pesaje, los diferentes agregados, cemento, agua y aditivos para, posteriormente, mediante bandas de transporte o tuberías helicoidales transportarlas hacia un mezclador en el cual se realiza la homogenización de los componentes, para finalmente obtener la mezcla

de concreto que será trasladada hacia su sitio de colocación en camiones auto mezcladores.

Tipos de plantas de concreto

Existen diversos criterios bajo los cuales se pueden agrupar las plantas de concreto por tipos:

- Según el concreto que produce se pueden clasificar en :

Planta dosificadora: este tipo de planta no posee mezclador. Una vez que las materias primas son dosificadas se pasan a un camión auto mezclador que es donde se realiza la homogenización de la mezcla de concreto.

Planta mezcladora: para producir concreto premezclado, posee un mezclador que es donde se combinan las materias primas para generar como resultado el concreto.

- Por su proceso de montaje y desmontaje se clasifican en:

Plantas estacionarias: Son las plantas diseñadas y pensadas para permanecer en el mismo sitio de trabajo durante la vida útil del equipo, tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Planta fija o estacionaria. Tomado de www.talleresalquezar.es

Plantas móviles: “para aquellos trabajos que requieren el desplazamiento de los equipos tras la finalización de la obra. Para el desplazamiento de la planta móvil, se pone el equipo en su

posición de transporte, quedando listo para ser arrastrado por una cabeza tractora gracias al bastidor autoportante del módulo de tolvas y del módulo de amasadoras. El montaje final se realiza de forma rápida y sencilla. Tras posicionar los módulos autoportantes. Estos se ponen en su posición de trabajo, para posteriormente instalar los silos de cemento⁴. Este tipo de planta posee un tren de rodadura. Véase la Figura 2.



Figura 2. Planta tipo móvil. Tomado de www.imingeniería.com.

Plantas modulares: Son plantas pensadas para ser empleadas en distintos proyectos. Estas se construyen en distintos módulos estructurales que le permitan ser transportados y ensamblados con facilidad. La Figura 3 representa una planta de este tipo.

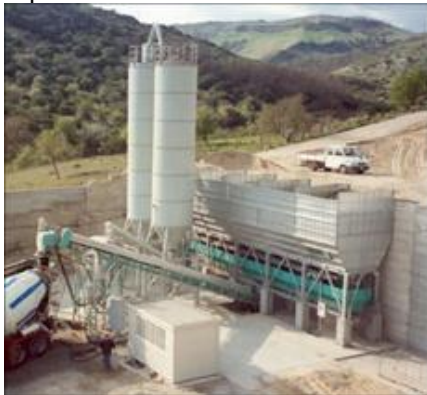


Figura 3. Planta tipo modular. Tomado de www.euromaterialescr.com.

- Y por el sistema de acopio de materiales se clasifican en:

⁴ Alquezar, 2011. Plantas de Hormigón. En línea: <http://www.talleresalquezar.es>

Plantas verticales: El acopio de los agregados se halla en la parte superior de la planta, al encontrarse el agregado sobre el mezclador se elimina el tiempo de subir el agregado hasta el mismo. Se puede apreciar una planta de este tipo en la Figura 4.



Figura 4. Planta de acopio vertical. Tomado de www.talleresalquezar.es

Plantas horizontales: “Permiten la carga del árido mediante pala, camión o sistemas de cintas transportadoras. La principal característica es que el acopio del árido se realiza en una batería de tolvas situada a nivel del suelo, por lo que el árido es elevado hasta el nivel de amasado mediante cinta transportadora”⁵.

Elementos que componen la planta de concreto

Tolvas: Son los contenedores o recipientes en donde se deposita el agregado que será requerido en el proceso de fabricación del concreto. Por las tolvas se canalizan los

⁵ Alquezar, 2011. PANTAS DE HORMIGON. En línea: <http://www.talleresalquezar.es>

agregados. Estas tienen vibradores neumáticos para ayudar al material a fluir y tienen igual cantidad de pistones neumáticos para la apertura de las compuertas.

Balanzas: Sistema de pesaje de los agregados de manera que asegura la correcta dosificación. Según el diseño de mezcla que se programe, se emplean celdas de pesaje.

Bandas Transportadoras: Consiste en el sistema que conduce los agregados luego de ser pesados hacia el mezclador. Las bandas transportadoras están integradas por rodillos, rodillos de retorno, muñoneras, motor, reductor y estaciones de carga, y generalmente es una banda de goma.

Banda de carga y descarga: Es la banda que recibe los agregados dosificados provenientes de las tolvas y que los traslada hacia la banda transportadora.

Mezclador: Es el contenedor en el cual se homogenizan los diferentes componentes de la mezcla. Existen los de doble eje horizontal, eje vertical o planetaria. El mezclador está adaptado a un motor. Este, mediante un reductor, es el que genera el movimiento de los ejes dentro del tambor mezclador. Las partes principales de estos ejes son las muñoneras y los estoperos de la muñonera.

Silos de cemento: Son los recipientes destinados a almacenar el cemento que se compra a granel. Estos silos se llenan mediante tuberías que a presión transportan el cemento. Sobre los silos de cemento se encuentra un sistema de filtros cuya función es eliminar los elementos residuales del cemento en el aire como medida medioambiental.

Tanque de cemento: Es el contenedor que recibe el cemento proveniente de los silos y, en el cual, se encuentran las celdas de pesaje de cemento que tienen una forma de "S", y que además se une al mezclador mediante una unión flexible. Además el tanque de cemento lleva adaptado un filtro de cartucho para el cemento.

Tanque de aditivo: Es el recipiente en el cual se almacena el aditivo previo a ser trasladado hacia el mezclador. Este cuenta con celdas de pesaje para el aditivo. Estos aditivos llegan al tanque mediante el accionamiento de una bomba centrífuga que lo suministra desde los depósitos.

Tanque de agua: Recipiente en el que se contiene el agua que proviene de la tubería que transporta el líquido desde la toma y en el

cual se tienen celdas de pesaje para el agua para su dosificación previa al proceso de mezclado.

Básculas: Sistema de celdas de pesaje para el cemento y el agua.

Tornillo sin fin: Sistema para transportar el cemento desde los silos hasta el tanque de cemento, constituido por un sistema de transporte o barra helicoidal.

Cabina de Control: Sitio donde se encuentra el operador de la planta y que cuenta con sistemas automatizados que permiten generar los distintos diseños de mezcla, llevando un control de los pesos de los componentes del concreto y de la producción.

Descripción del proceso de las plantas del P. H. Reventazón

Los diseños de mezcla por utilizarse, se encuentran programados en el sistema de control que es el que registra los pesos de material que se requieren en la producción de determinada cantidad de concreto. Este sistema de control puede ser trabajado mediante un tablero de control manual o de forma automatizada. En el caso de la planta pozzuoli actualmente instalada trabaja con el software Indusoft Web Studio v6.1.

Estos diseños de mezcla son suministrados por el Departamento de Control de Calidad que, a su vez, tiene designado un trabajador en el área de planta que se encarga de velar por el adecuado proceso de producción del diseño de mezcla.

La arena y la piedra se colocan en un patio de acopio y mediante un sistema de transporte (cargador) se lleva a las tolvas de alimentación. Estas tolvas están provistas de vibradores neumáticos que son los que golpean las tolvas garantizando la fluidez del material en el vaciado de las tolvas; de pistones neumáticos que permiten abrir la compuerta de la tolva y de celdas de pesaje para la adecuada dosificación del agregado requerido por el diseño de mezcla.

Las tolvas tienen una banda transportadora de carga incorporada de goma lisa de 92 cm de ancho. Esta banda de pesaje es accionada por un motor de 30 HP con un reductor tipo pendular de doble reducción de relación 20.3 a 1.

Los agregados son colocados en una tolva pequeña con unas celdas de pesaje que

funcionan como báscula para determinar el peso de los materiales. Una vez que se obtiene el peso deseado, el proceso de alimentación se detiene automáticamente.



Figura 5. Tolvas de almacenamiento de agregados, planta Pozzuolli P.H.R.

En el caso del cemento, este se tiene almacenado en un contenedor o silo móvil conocido como marrana con una capacidad de 125 toneladas y desde el cual se bombea mediante un compresor el material hasta los silos de cemento propios de la planta.



Figura 6. Silo móvil o marrana para almacenamiento de cemento, planta Pozzuolli P.H.R.

Cuando el concreto solicitado requiere del uso de fibra, esta es agregada directamente en la banda transportadora. Este proceso se realiza de manera manual y se emplean unos 41 kg de fibra por cada metro cúbico de concreto que se produce. Por logística se utilizan sacos completos de 25 kg, por lo que producir $6m^3$ que

es lo que transporta la chompipa se requiere de 10 sacos de fibra.



Figura 7. Tarima con los sacos de fibra metálica para el concreto, planta Pozzuolli P.H.R.

Los agregados dosificados caen de la tolva hacia una banda de pesaje y luego pasan a una banda transportadora que eleva los agregados y los conduce hacia el mezclador. Esta banda tiene 120 cm de ancho con nervaduras en V, y su accionamiento es mediante un motor de 60 HP, que además tiene un reductor tipo pendular de doble reducción de relación 20.3 a 1.



Figura 8. Banda transportadora de agregados, planta Pozzuolli P.H.R.

El agua en la planta funciona por gravedad, condición que en ocasiones retrasa el ciclo de mezclado pues se extiende el tiempo de duración en el dosificado del agua. Esta agua es tomada de una naciente y transportada mediante una tubería a lo largo de una distancia aproximada de 1 km, en condiciones de abundancia de agua la presión ronda los 8 kg/cm². Sin embargo, en la época seca existe escasez de agua e incluso por períodos se seca la naciente, razón por la cual se decidió instalar tanques de almacenamiento y una bomba marca Grindex, modelo Major N con capacidad máxima de 41 l/s. Así entonces, cuando se opera con el agua proveniente de estos tanques se obtiene una presión medida con manómetro de 3.5 kg/cm². Esta presión puede ser levantada mediante el uso de bombas centrífugas las cuales se encuentran en proceso de compra.



Figura 9. Tubería de abastecimiento de agua, planta Pozzuolli P.H.R.

El cemento es transportado de los silos de almacenamiento hacia el tanque de cemento por medio de un tornillo sin fin.



Figura 10. Ubicación tornillo sin fin, planta Pozzuolli P.H.R.



Figura 11. Tanque de almacenamiento de cemento, planta Pozzuolli P.H.R.

El aditivo se encuentra en depósitos desde los cuales, por medio de una bomba neumática, es enviado al tanque de aditivo que posee las celdas de pesaje para posteriormente ser descargado en el mezclador.



Figura 12. Depósitos y trasiego de aditivo, planta Pozzuolli P.H.R.



Figura 13. Tanque de almacenamiento de aditivo, planta Pozzuolli P.H.R.

El aditivo fluidificante es añadido de acuerdo con las condiciones de humedad y del tiempo que se tenga durante la producción del concreto y para ello, en planta, se cuenta con un inspector del Departamento de Control de Calidad. Normalmente se añaden alrededor de 6 cc por kg de cemento de este material.

Asimismo, este Departamento de Control de Calidad constantemente fabrica probetas cilíndricas para realizar pruebas de resistencia a la compresión simple al diseño trabajado y de la misma manera se realizan pruebas de revenimiento. Para ello se utiliza el cono como lo especifican las normas ASTM C-39 y C-172 respectivamente.



Figura 14. Muestras cilíndricas elaboradas por Control de Calidad, planta Pozzuolli P.H.R.

Entonces, al mezclador acceden todos los componentes (agregados, aditivo, agua y cemento) para la homogenización. Esto permite que se revista la superficie de los agregados con la pasta de cemento. La tapa del mezclador de la planta Pozzuolli tiene adaptada una boca de tapa para la entrada de los agregados, así como un cobertor de áridos unido a dicha boca. El mezclador es de doble eje horizontal con 8 aspas o paletas en cada eje y da 24 rpm.

La mezcla de concreto es descargada en las chompipas (camiones concreteros). La chompipa, mediante el mezclador, permite al concreto mantener su fluidez. Esto previene que el concreto no se endurezca prematuramente.



Figura 15. Descarga del concreto en camión automezclador planta Pozzuolli P.H.R.

La planta de concreto requiere de la instalación de sedimentadores que permitan que el agua que se va a reincorporar al río, presente la menor cantidad de residuos que sea posible. En los sedimentadores, las chompipas descargan el agua que se utiliza para el lavado del tambor mezclador. Los sedimentos son extraídos periódicamente y se depositan en una escombrera.



Figura 16. Sistema de sedimentadores, planta Pozzuolli P.H.R.

De acuerdo con los volúmenes estimados en el flujo de concreto (marzo 2011) y debido a la distancia entre las obras, se estimó emplear cinco plantas de concreto para la totalidad del proyecto. De momento, la primera planta se instaló en la margen izquierda del río (Planta Pozzuoli), y es la que ha llevado la producción de concreto hasta el mes de abril del 2011.

En el P.H.R. se trabaja con jornadas de trabajo bisemanales en la mayor parte de los frentes de trabajo de obra. Una bisemana es un período correspondiente a 11 días de trabajo comprendidos entre el día martes de una semana y el día viernes de la semana siguiente.

En el P.H. Reventazón, específicamente en la planta de concreto, el planeamiento de la producción lo que busca es programar con una semana de anticipación las solicitudes de concreto de las distintas obras, para así asegurar los abastecimientos que se deben tener de las diferentes materias primas, principalmente en la solicitud del cemento, ya sea con Cemex o con Holcim, estos piden que se realice la requisición o pedido con una semana de anticipación por tratarse de cemento puzolánico, fabricado especialmente para el proyecto. De esta manera lo que se emplea es una boleta de "Solicitud de Concreto" (Anexo 3) en la cuales debe indicarse la fecha de trámite, el lugar de obra, la cantidad en m³ de concreto solicitada y despachada, el diseño de concreto que es requerido, así como también la fecha en que se pretende utilizar el concreto, la hora y fecha de despacho. Igualmente es importante anotar la cuenta a la que es cargada la solicitud de producción, esto con el fin de controlar también los costos de las diferentes actividades.

De igual manera cuando la planta requiere solicitar agregados se debe de llenar una solicitud (Anexo 4) en la que se indique la cantidad y tipo de material que es requerido, la hora y fecha deseada. La solicitud de cemento se realiza por correo a la empresa proveedora.

Lo anteriormente descrito es una forma de llevar un control de la productividad y de los costos, teniendo en cuenta lo que entra y sale de cada departamento. Así, con estos mecanismos de control, se hace posible comprobar la demanda real contra la que se estima en los flujos de concreto, además se establece un pronóstico de la demanda de concreto en función de la cantidad y el tiempo.

Plantas disponibles para el P.H.R.

Descripción planta Pozzuolli (Planta en operación en P.H.R.)

La planta Pozzuolli es una planta mezcladora de concreto, de tipo modular y clasificada como de tipo horizontal por su sistema de acopio de los agregados. Estas plantas son propiedad del I.C.E y son construidas en el MET. Se espera tener a disposición del P.H.R. tres de estas plantas de producción.

Datos Técnicos

Banda pesaje: 30HP, 3 ph, 440 VAC
 Banda transportadora: 60 HP, 3 ph, 440 VAC
 Moto reductores mezclador: 60 HP, 3 ph, 440 VAC, $i = 68$, $FS = 1.52$
 Compresor: 15 HP, 3 ph, 440 VAC
 Capacidad del compresor: 48.4 CFM, P_{max} 160 psi, tanque de 900 Lt.
 Silos: 26 m³
 Tolvas de piedra: 24 m³ [x2]
 Tolvas de arena: 21 m³ [x2]
 Mezclador: 4.5-3 m³

Capacidad de producción de la planta: 80 m³/hora. (ICE, 2009).

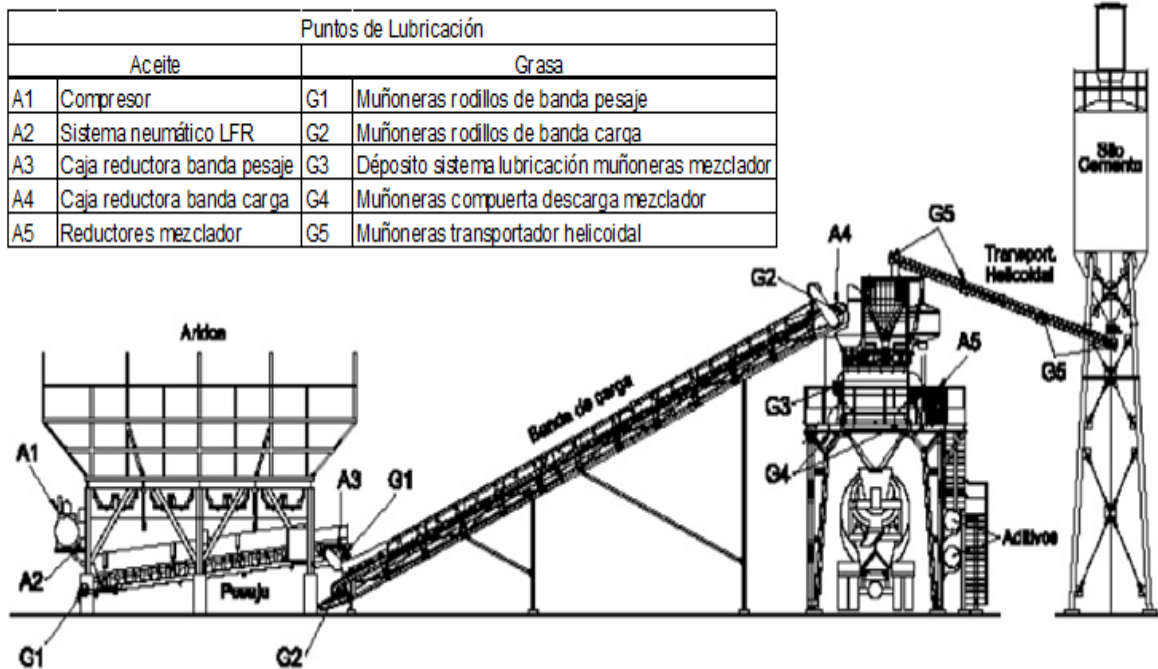


Figura 17. Diagrama general planta Pozzuolli P.H.R. Tomado de manual Pozuela, MET,ICE.

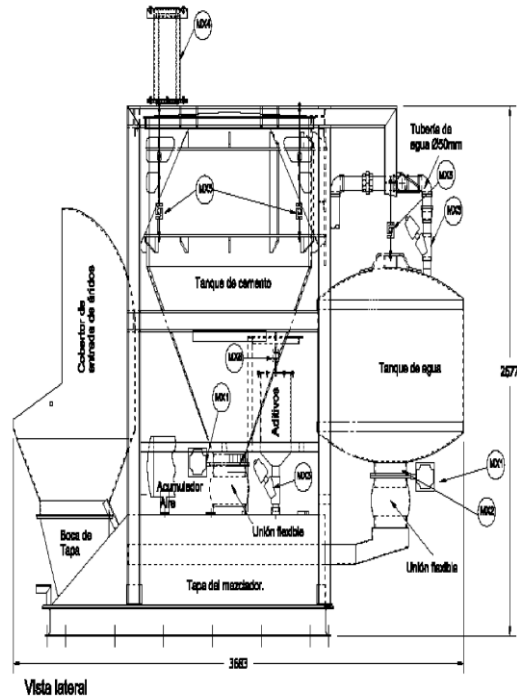


Figura 18. Estructuras sobre el mezclador planta Pozzuolli P.H.R. Tomado de manual Pozzuolli, MET,ICE.

Descripción planta IME

Esta planta fue instalada en Ventana, en Pirris, en setiembre del 2007. Esta planta inició pruebas ese mismo mes.

Tiene una capacidad instalada de **70m³/h** en concreto convencional.

La producción total de la planta es de **108.027,9m³**, con un promedio de **90,09m³/h** diarios en 1.199 días a la orden para el PHR.

Rendimientos aproximados de algunos elementos importantes:

- Bandas transportadoras inclinada y pesaje = 63.923,36m³.
- Piso, paredes del mezclador = 14.000m³/cambio. (incluyendo rotación interna apenas se observe desgaste considerable de parte inferior del mezclador).
- Rodillos = rotación de cambio aproximada de 20 rodillos (10 largos y 10 cortos) cada 8,000m³.
- Compuerta de descarga del mezclador = vida útil 75.000m³ (el cambio en Pirris se realizó a los 75.142,36 m³).

La información anterior fue proporcionada por el Ing. César Zamora.

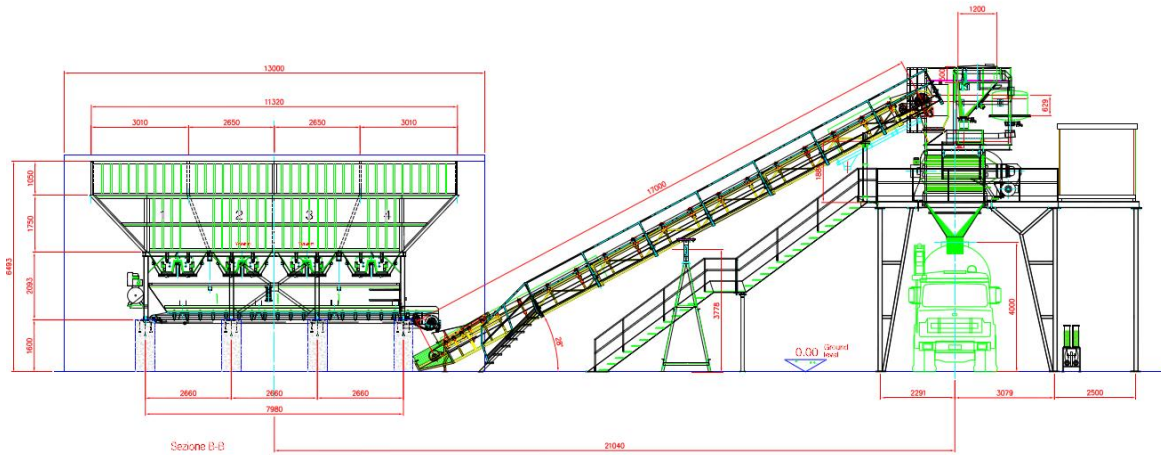


Figura 19. Diagrama general planta IME P.H.R. Tomado planos Departamento de Topografía, P.H.R.

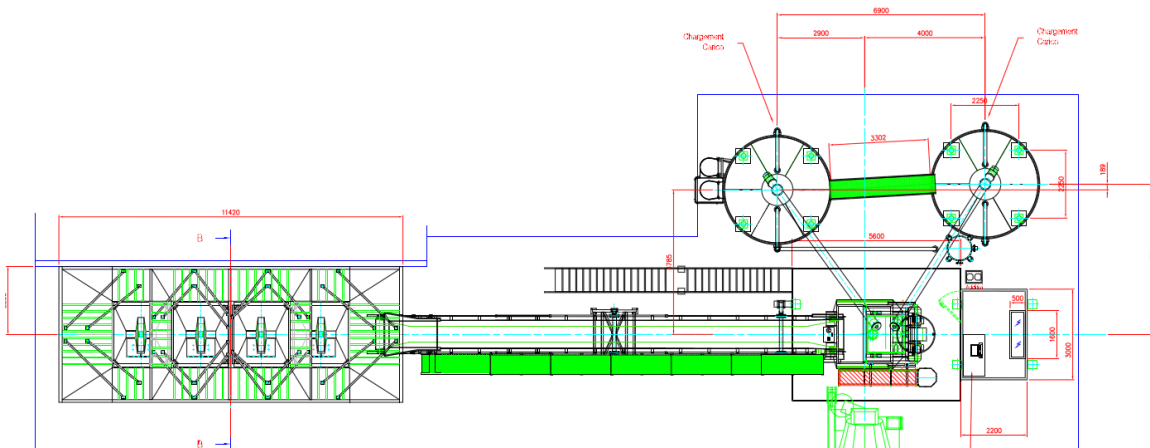


Figura 20. Diagrama general planta IME P.H.R. Tomado planos Departamento de Topografía, P.H.R.

Descripción Planta Arbau

Esta planta presenta un rendimiento de 100 m³ según lo indicó el operador que trabajó con esta planta en el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. (ICE, 2011).

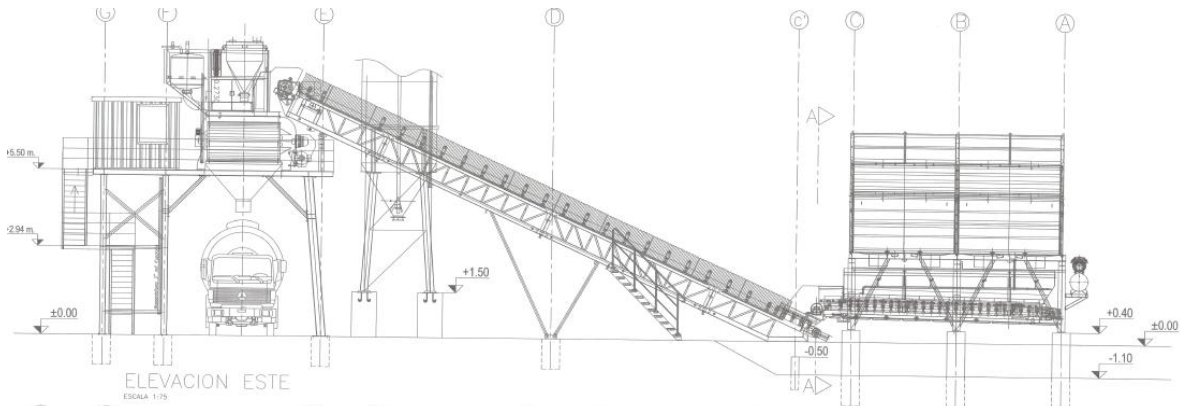


Figura 21. Diagrama general planta Arbau P.H.R. Tomado de levantamiento unidad de Topografía, P.H.Pirris.

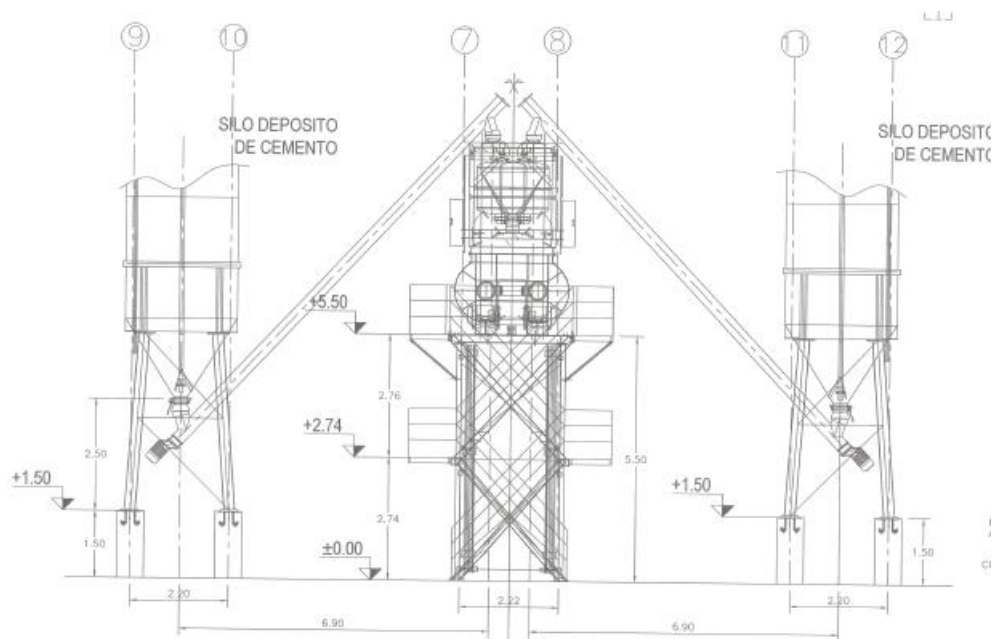


Figura 22. Diagrama general planta Arbau P.H.R. Tomado de levantamiento unidad de Topografía, P.H.Pirris.

Elementos requeridos para el funcionamiento de la planta de concreto

Agregados: La fuente principal en la producción de agregados utilizados para producir el concreto son los aluviones. Este material es extraído del propio río Reventazón, y la producción de los agregados se realiza en el quebrador Trío

ubicado en la margen izquierda del río. Estos agregados son arena y piedra de $\frac{3}{4}$ " de $\frac{1}{2}$ " y de $1 \frac{1}{2}$ ". A su vez, en el proceso de producción se genera un material sobrante que es aquel con tamaño mayor a $1 \frac{1}{2}$ ".

El quebrador es fundamentalmente un conjunto de equipos utilizados para producir gravas y arenas a partir de bloques de piedra de mayor tamaño, mediante la trituración de los mismos.

Descripción del quebrador del P.H.Reventazón

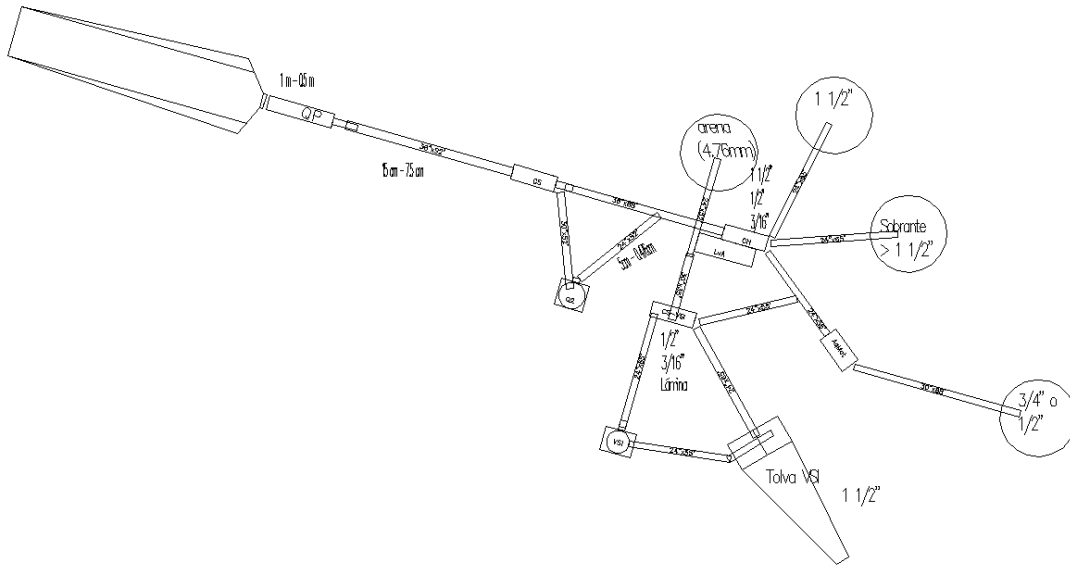


Figura 23. Esquema quebrador Trío del P.H.R.

El complejo de producción de agregados del P.H.R. es marca Trío y está compuesto por los siguientes elementos: tolvas de alimentación, un alimentador vibratorio, un quebrador primario, un quebrador secundario, dos cribas secas, una criba húmeda, un impactor de eje vertical (VSI) y bandas transportadoras.

El alimentador vibratorio es el equipo que se encarga de recibir el aluvión proveniente del río. Este debe tener un tamaño máximo de 80 cm para evitar atascamientos en el quebrador primario. Por medio de parrillas vibratorias transporta el material para alimentar el quebrador primario.

El quebrador primario es de muelas y recibe el aluvión para reducirlo a un tamaño máximo de 4.5".

Posteriormente el material cae en la banda incorporada y esta pasa el material a otra

banda de 36"x92' que lo lleva hasta una criba seca en donde se separan los finos de los gruesos, con la finalidad de que el quebrador secundario triture el material grueso y el material fino, que proviene del quebrador primario, continúe su ciclo hacia la criba húmeda por medio de una banda de 36"x88'.

El quebrador secundario quiebra el material mediante rotación de un sistema de conchas y lo reduce a un tamaño máximo de 2 pulgadas que se restablece a la banda en la que pasa el material fino que proviene de la criba seca, de ahí ambos materiales son transportados mediante una banda hacia una criba húmeda que es la que clasifica el material en arena, 1 1/2", sobrante y 3/4". Si es requerido material de 1/2" se intercambian los tamices de manera tal que en lugar de producirse 3/4" se produce 1/2". La malla inferior que utilizan en las cribas es la de 3/16".

El proyecto requiere el aprovechamiento de la arena de río, razón por la cual, en la criba húmeda el material que pasa la malla 3/16" es llevado al lavador de arenas. En el lavador de arenas, el material se limpia de arcillas y limos por decantación, debido a que por el peso propio tanto limos como arcillas se depositan en el fondo. Esto permite que la arena pase por un bajante que la lleva a una banda para luego mezclarse con la arena industrial.

El VSI, en el cual se produce polvo de piedra o arena industrial, cuenta con un rotor y una cámara revestida de roca, que al impacto genera la trituración. El VSI es alimentado mediante tolvas en las cuales se coloca material de 1 1/2". Se cuenta con una banda de retorno de manera que el material que no logró ser triturado pase nuevamente por el VSI.

En ocasiones y durante el proceso y el trabajo diario, al quebrador sufre desperfectos como que los tornillos se aflojen, etc.; razón por

la cual, en las mañanas, antes de comenzar a trabajar, se le brinda mantenimiento.

Un cuidado que se debe tener es que la zona en la cual cae el material contenga exclusivamente material del mismo tipo, de manera que se evite la contaminación. De igual manera el balde del cargador y las góndolas de las vagonetas deben encontrarse limpias.

El material se estoquea en zonas inmediatas al quebrador destinadas para este fin. Esto significa que antes han sido preparadas. A su vez, esto indica que se genera una capa de al menos 20 cm de espesor con el mismo material a estoquear, permitiendo que con el uso del cargador no se vaya a contaminar el acopio, una vez que se acumulen los materiales.

Inmediatamente, al lado del quebrador, se estoquea el agregado de 1/2" posteriormente se tiene el chorro, la piedra de 1 1/2", lo sigue el acopio de arena y por último el de 3/4", como se aprecia en la Figura 24.

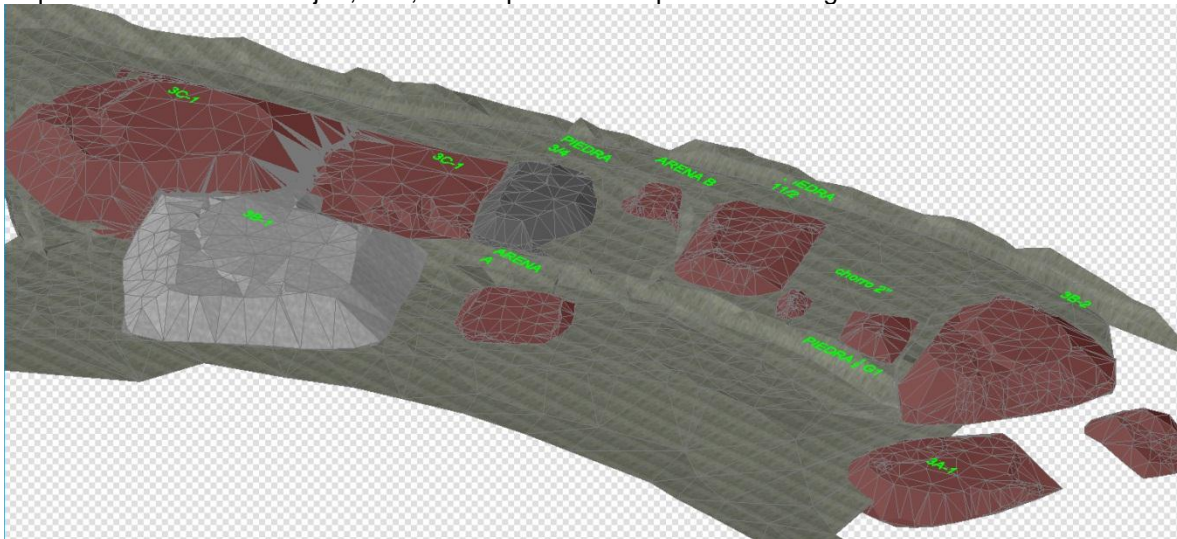


Figura 24. Área de acopio de agregados. Tomado del levantamiento de unidad de topografía del P.H.R.

El chorro es material de tamaño mayor a 1 1/2".

Este material es utilizado en lastreado de caminos o también como material de sustitución en excavaciones.

Entre cada acopio es importante dejar una distancia, como mínimo el ancho necesario para la maniobra de las maquinarias, de manera que se evite también la contaminación entre los apilamientos de material.

El quebrador no se detiene a no ser que se presenten averías de tipo mecánico que obliguen a una revisión más exhaustiva del quebrador. En la Figura 25 se aprecia una fotografía del quebrador Trío que actualmente opera en el P.H.R.



Figura 25. Quebrador Trío, P.H.R.

Este quebrador tiene un sistema de sedimentadores con la finalidad de recoger los sedimentos que trae el agua que sale de las cribas, de manera que esta agua pueda ser retornada al río con un nivel bajo de contaminación.

Esta misma agua es reutilizada mediante una bomba. Esta envía de vuelta el agua hacia la criba húmeda a través de una tubería que tiene un diámetro de 6 pulgadas que posteriormente se reduce mediante un niple a tubería de 4 pulgadas, y esta se reduce nuevamente a 2 pulgadas en las mangueras de entrada del agua hacia la criba.

Los sedimentadores tienen un ancho de 3 metros por cuatro metros de largo con una profundidad de 4 metros. De esta manera y mediante una suave pendiente el agua transita mientras los sedimentos se van depositando en el fondo de los tanques. La limpieza de estos sedimentadores se realiza cuando se agota su capacidad, pero generalmente se realiza cada entrada de bisemana.

Agua: el agua es requerida para la hidratación del cemento y su posterior endurecimiento. Para el proceso de mezclado del concreto se debe contar con agua limpia, potable, que sea inodora e incolora. Por tal razón, el agua no debe tener altas concentraciones de sólidos disueltos. El agua debe estar libre de impurezas y se deben controlar los óxidos alcalinos o básicos ya que no es conveniente utilizar agua con un pH alcalino para preparar la mezcla. Recordando que el pH

es una escala de 0 a 14 donde por debajo de 7 la sustancia es ácida y sobre 7 es básica.

El agua utilizada en la planta Pozzoulli se obtiene de una naciente que está a una distancia aproximada de 1 km. Esta llega a la planta por gravedad con una presión de 8 kg/cm².

Los resultados de análisis físico-químicos a muestras de agua generados por el Laboratorio de Control de Calidad de sitio de presa del P.H.R., muestran los siguientes datos para el agua empleada en la planta de concreto Pozuela que está instalada en el margen izquierdo.

Cuadro 1. Propiedades físico-químicas del agua en P.H.R.	
PARÁMETROS	PLANTA DE CONCRETO MI
pH	6,38
Bicarbonato (mg/L)	24,60
Alcalinidad (mg/L) como CaCO ₃	28,70
Dureza total (mg/L) como CaCO ₃	23,50
Cloruro (mg/L)	17,60
Sulfato (mg/L)	1,25
Nitrato (mg/L)	0,64
Sodio (mg/L)	0,90
Calcio (mg/L)	4,52
Magnesio (mg/L)	1,90
Sílice (mg/L)	22,40
Sólidos suspendidos (mg/L)	3,00
Sólidos disueltos (mg/L)	60,00
Conductividad (µmhos/cm)	92,40

Datos de resultados de análisis físico-químicos del Departamento de Control de Calidad, P.H.R.

De los resultados se determina que el agua de la muestra puede usarse en la preparación de concreto.

Cemento: Material conglomerante, en el caso del proyecto se utiliza puzolánico, con un contenido mínimo de 24% de puzolana y es ideal para coladas de grandes volúmenes. Según los análisis de nivel freático y del agua, las aguas del proyecto son agresivas. Estas afectan el acero de refuerzo en el concreto, razón por la cual se emplea cemento puzolánico ya que tiene una mejor resistencia a las aguas agresivas y además hace más impermeable el concreto.

Un análisis químico a una muestra de Cemento Cemex tomada el 30 de marzo del 2011 por control de calidad generó los siguientes resultados:

Cuadro 2. Propiedades químicas del cemento en P.H.R.	
CEMENTO CEMEX MP	
Pérdidas por ignición (%)	2,49
Óxido de Calcio (%)	52,50
Óxido de Magnesio (%)	1,25
Trióxido de Hierro (%)	4,20
Trióxido de Aluminio (%)	6,45
Trióxido de Azufre (%)	2,80
Sílice (%)	28,00
Óxido de Sodio (%)	0,42
Óxido de Potasio (%)	0,58

Datos de resultados de análisis químicos del Departamento de Control de Calidad, P.H.R.

Mientras que para ensayos físicos se obtuvieron los siguientes valores:

Cuadro 3. Propiedades físicas del cemento en P.H.R.	
Superficie Blaine (m ² /kg)	471,00
Finura Malla 325 (% pasante)	94,00
Densidad (kg/m ³)	2.920,00
Expansión Autoclave (%)	0,01
Tiempo de fraguado inicial (min.)	116,00
Tiempo de fraguado final (min.)	197,00
Consistencia normal (%)	26,30
Fraguado falso (%)	70,00
Resistencia a la compresión	
1 día (MPa)	12,60
3 días (MPa)	20,00
7 días (MPa)	25,20
28 días (MPa)	31,70

Datos de resultados de prueba físicas Cemex.

La adquisición del cemento del proyecto se realiza mediante una compra especial en contratación directa. Para esto se utiliza una documentación interna con los requerimientos del P.H.R. en materia de cemento. Esta documentación es enviada a la proveeduría del ICE, en San José, donde se hace una licitación o, en este caso, se invita a participar tanto a Cemex como a Holcim (industrias cementeras). Estas empresas generan sus ofertas de acuerdo con los requerimientos del P.H.R. Estas ofertas son analizadas y se les realizan estudios técnicos. El ICE, San José, considera las ofertas y escoge la mejor.

Una vez escogido el proveedor se realiza una compra general para todas las obras del P.H.R., en donde, de momento, existen tres frentes de trabajo que requieren del cemento que son: fogón margen izquierda y fogón margen derecha. A estos frentes se les despacha cemento en sacos de la planta de producción

instalada en margen izquierda que hace solicitudes de cemento a granel. Estas solicitudes son manejadas por medio de la señora Lilliana Lépiz, encargada de hacer los pedidos a Cemex; la cementera que actualmente provee el cemento.

Las solicitudes de cemento deben ser informadas con una semana de antelación en el caso del cemento a granel, y en el caso del cemento por sacos puede generarse con un día de anticipación. La última compra tramitada por el P.H.R. tiene un valor aproximado a 6 millones de dólares y es una cantidad estimada para dos años, según información suministrada por Lilliana Lépiz.

De acuerdo con el flujo de concreto, en las distintas obras del proyecto serán necesarias 276 636 ton. de cemento. El cemento tiene un aporte adicional que se estima en 277 073 sacos empleados para la impermeabilización de la presa.

Mano de obra: Involucra el personal necesario para la operación de determinado proceso. Todo el personal debe contar con el equipo de seguridad apropiado (chaleco reflector, casco, zapatos especiales y según lo requiera la labor mascarillas). Para el caso del P.H.R., en el área de planta de concreto, se trabaja a dos turnos de doce horas. En cada uno de estos se tiene el siguiente personal:

Encargado de planta: Esta persona se encuentra a cargo de la logística de la planta y entre sus funciones están coordinar los despachos de concreto, las requisiciones y pedidos de materias primas, el manejo del personal de trabajo de la planta, realizar charlas de seguridad ocupacional, coordinar el uso de la maquinaria. Asimismo, este encargado es quien tiene contacto de forma directa con la ingeniera a cargo del frente de trabajo.

Operador de planta: Esta persona es asignada por el Departamento de Equipo Menor y es quien está capacitada en el manejo del programa operativo de la planta de concreto, así como también está capacitada para la inspección preventiva de cada uno de los equipos del complejo de producción. Además debe llevar una bitácora en la que se especifique todo lo sucedido con el equipo durante su turno de producción.

Inspector de control de calidad: Es la persona designada por el Departamento de Control de Calidad para la supervisión del proceso de

producción. En este debe revisar constantemente la fluidez de la mezcla, realizar pruebas de revenimiento así como muestreos cilíndricos de concreto para la posterior prueba de resistencia, además debe velar por la pureza del agua y la saturación correcta de los agregados entre otras funciones.

Inspector de control de producción y costos: Es quien está encargado de llevar la papelería que controla el tiempo laborado de los equipos. Este inspector también documenta la salida de concreto, la entrada y salida de materias primas y debe llevar la planilla de la planta.

Dos ayudantes (peones): Encargados de labores como acomodo de automezcladoras, desplazamiento de mangueras y equipos, trabajos de limpieza del área y equipos de la planta.

Técnico mecánico: Debe velar por cualquier falla mecánica que el equipo presente.

Técnico eléctrico: Su función es corregir cualquier falla eléctrica que la planta pueda presentar.

Soldador: Realiza trabajos de soldadura pertinente a las estructuras de la planta.

Maquinaria y equipo: Referido a las distintas máquinas que son requeridas para llevar a cabo un proceso dado. En el caso de la parte de la producción del concreto en sitio se requieren auto mezcladoras, un cargador con uñas y la planta mezcladora. Durante el montaje de la planta también se hace necesario contar con un montacargas y una grúa.

Rendimiento: En relación con el tema de producción de concreto, fundamentalmente, es importante conocer la productividad que pueden generar las plantas hormigoneras por instalar. Sin embargo, detrás de esto existe un proceso previo relacionado con el aporte de las materias primas para producir concreto. Por esta razón se deben determinar los tiempos que implican los acarreos de material, así como la capacidad de producir agregado que posee el quebrador, de manera que sea viable establecer la cantidad de trabajo por unidad de tiempo que se pueden generar. En el P.H.R. esta labor le corresponde al área de producción de agregados.

De acuerdo con el rendimiento de la totalidad de insumos, maquinaria y mano de obra

empleada, es posible relacionar un costo para la producción de un volumen dado de concreto (costo unitario $\$/m^3$). En la planta de concreto interesa el tema de los agregados para contar con un apilamiento de material para la fabricación del concreto cuando es solicitado. Para ello, con base en los diseños de mezcla por solicitar, se planea la solicitud de los volúmenes de agregados necesarios para un período dado.

La planta Pouzzolli genera un rendimiento real de aproximadamente $80 m^3/h$. En esta planta se cuenta con un mezclador que tiene capacidad de $3 m^3$ por batida.

Obras que requieren del concreto

Túneles de desvío: Son dos estructuras construidas para el desvío del río mientras se realiza la construcción de la presa. Estos se ubican en la margen izquierda del río y tienen sección transversal tipo baúl de 14 m de diámetro. El túnel externo (túnel 1) tiene una longitud de 667 m mientras que el túnel interno (túnel 2) alcanza los 793 m. Para su construcción es requerido un volumen de $83291 m^3$ de concreto. (ICE, 2009).



Figura 26. Final túnel 2 de desvío, P.H.R..



Figura 27. Final túneles de desvío, P.H.R.

Descarga de fondo: Esta estructura consiste de un túnel de 535 metros de longitud que tiene como funciones –entre otras- permitir la limpieza del embalse por medio de la descarga de sedimentos y la limpieza del área de la toma de aguas. Se divide en tres tramos: el inicial con un diámetro interno de 7,5 m revestido en concreto reforzado, el tramo intermedio blindado para alojar las compuertas, de 4,7 m de diámetro y el tramo final revestido en concreto, de 7,5 m de diámetro interno. El túnel de la descarga de fondo funciona a presión hasta la estructura de control.

Esta obra se construye en margen derecha del río y debe localizarse cerca de la toma de aguas de la presa. Para su construcción son necesarios 16172 m³ de concreto. (ICE, 2009).

Presa principal: La presa será del tipo CRFD (enrocado con cara de concreto). Tiene

una altura de 130 m, con taludes 1,5H:1,0V aguas arriba y 1,6H:1,0V aguas abajo, y tiene dos parapetos que protegen la cresta uno de 5 m aguas arriba y el otro de 3 m aguas abajo. Esta cresta de la presa tiene un ancho de 8 metros. Tiene una longitud de cresta de 527 m y un volumen total de relleno de aproximadamente 7,9 millones de m³. El requerimiento de concreto en la presa principal se da para la construcción de la cara de concreto, para el plinto y cresta de la presa y para la cortina de impermeabilización, para abarcar un total de 108765 m³ de concreto.

El plinto es una unidad impermeable entre la cara de concreto y la roca de fundación, mientras que la cortina de impermeabilización es una obra que le da estabilidad a la presa y busca minimizar la infiltración del agua del embalse hacia la roca donde está fundada la presa. (ICE, 2009).

Vertedor de excedencias: Es una estructura cuya función es controlar los excesos de agua para que el nivel del embalse no sobrepase la corona de la presa, y mantener un nivel alto para un mejor aprovechamiento de las aguas del embalse. Está compuesto por un canal de aproximación, la cresta y sus compuertas, un canal de rápida con una ranura de aireación y un patín expulsor. El vertedor está localizado en el estribo derecho de la presa. El primer tramo del canal de aproximación es de sección transversal trapecial, excavado con un ancho de base igual a 110 m, cuyo fondo se encuentra a la elevación 235,00 msnm, con pendientes laterales de 0,50H:1V. El segundo y último tramo tiene una sección rectangular de ancho variable. La cresta tiene un ancho total de 64,60 m, localizada a la elevación 249,50 msnm y está equipada con cuatro compuertas de sector circular de 17,50 m de alto, 12,40 m de ancho, separadas entre sí por pilares de 5,00 m de espesor. El volumen de concreto necesario para la construcción de estas obras es de 102530 m³ de concreto.



Figura 28. Excavaciones en el vertedor, P.H.R.

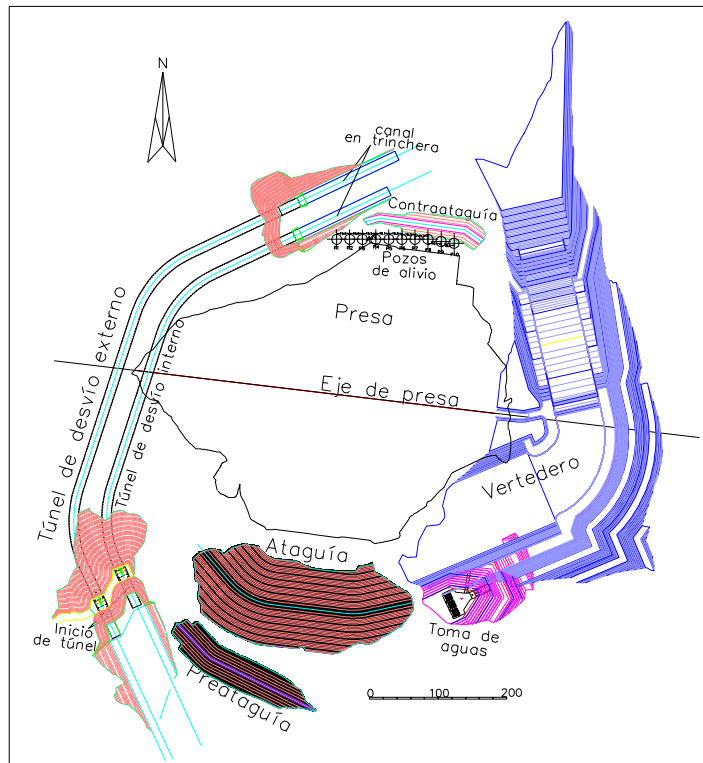


Figura 29. Diagrama de obras, P.H.R. Tomado de planos del Departamento de Topografía.

Toma de aguas: La toma de aguas es la estructura encargada de captar el agua que será usada para la producción de energía. La toma tiene un sistema frontal de rejas y un sistema de muros laterales de cierre que se acercan entre sí hasta formar la boca de toma. El nivel del umbral de la toma es la cota 236 msnm, mientras que el nivel del piso de la bocatoma se fijó a la elevación 226 msnm. Para el acceso a la toma debe construirse un puente de aproximadamente 45 metros, dando como resultado un total de 32333 m³ de concreto. (ICE, 2009).

Embalse: El embalse se localiza en la parte media de la cuenca del río Reventazón entre los sectores de Bonilla y Lomas, al suroeste del cantón de Siquirres (**Error! Reference source not found.**). Sus características principales son las siguientes:

- Oscilación del nivel de agua = 20 m
- Cota máxima de operación = 265 msnm
- Volumen total correspondiente = 300 hm³
- Extensión de espejo de agua correspondiente = 6,9 km²
- Longitud de espejo de agua correspondiente = 8 km.

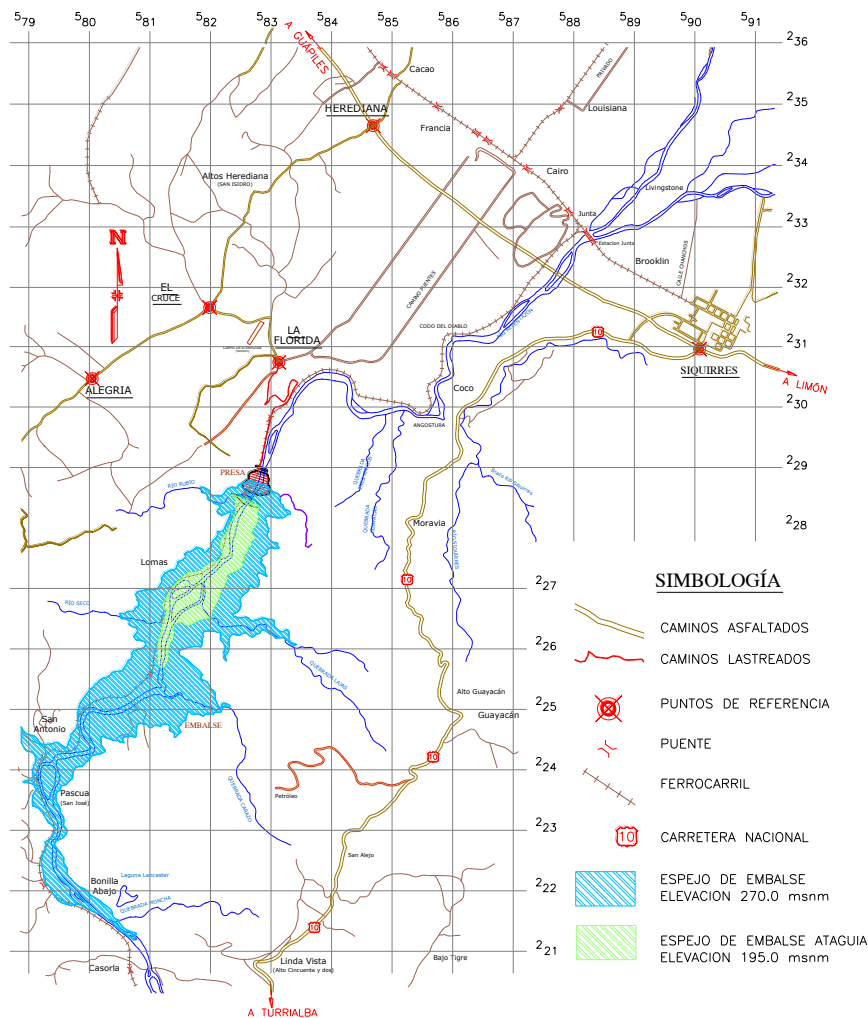


Figura 30. Planos Embalse, P.H.R. Tomado de Departamento de Topografía.

El embalse permite regular el caudal del río, almacenando el agua de los períodos lluviosos para utilizarlos durante los períodos más secos y creando una diferencia de niveles de agua para la generación de energía eléctrica mediante la central hidroeléctrica.

En la zona de embalse es necesario el tratamiento de una zona de deslizamiento, para lo cual se debe construir un talud con altura de 8 metros y cresta de 10 metros con una sección transversal de 140 m², que hace necesaria la utilización de 60000 m³ de concreto lanzado por vía húmeda. (ICE, 2009).

Minicentral: Para este proyecto, como producto del Estudio de Impacto Ambiental realizado por SETENA, se determinó que se requiere de un caudal de compensación de 15 m³/s que permita producir un flujo mínimo entre la presa y el sitio de restitución. Este caudal de compensación es el que permite la preservación de los ecosistemas del río. Por esta razón se propuso la construcción de una minicentral que permita aprovechar la energía de estas aguas, y se situará entre la contraataguía y el talud posterior de la presa. Para la construcción de esta pequeña casa de máquinas que albergará

una turbina generadora tipo Francis serán necesarios 6075 m³ de concreto, de acuerdo con el flujo de concreto a marzo del 2011 y se edificará en margen derecha del río Reventazón. (ICE, 2009).

Conducción: La conducción subterránea tiene una longitud de 1680 metros que se extiende desde el portal de salida de la toma de aguas. El trazado de este túnel es una línea recta hasta la salida. Este túnel trabaja con un caudal de diseño de 240 m³/s a una velocidad de 3,35 m/s, el diámetro interno de dicho túnel con revestimiento de concreto es de 9,4 m. El túnel además tiene un tanque de oscilación que le protege del golpe de ariete y en el cual se estima necesaria la producción de alrededor de 35000 m³ de concreto. El tanque tiene forma cilíndrica con un diámetro de 27 m y una altura de 51 metros. La tubería forzada es otro de los elementos que conforman la conducción y presenta una longitud de 904,7 metros y un diámetro que va desde los 8,6 metros en la parte superior hasta los 8,2 metros al llegar al primer bifurcador. En total se estiman necesarios para la ejecución de las obras de conducción un total de 122215 m³ de concreto. (ICE, 2009).



Figura 31. Excavación para tubería de conducción, P.H.R.

Casa de máquinas: Esta, que es el sitio en donde se encuentran los equipos generadores del proyecto, será ubicada en una terraza de aproximadamente 80 m de ancho y 250 m de

largo en la margen derecha del río Reventazón. La subestación, de 200 x 200 m, se localiza en la margen derecha del río Reventazón, 700 m aguas arriba de la casa de máquinas. La casa de

máquinas albergará cuatro turbinas tipo Francis. El edificio tiene 64,8 metros de largo por 25,8 metros de ancho y con una altura de 40,9 metros desde el nivel mínimo de fundación hasta la cumbrera. Esta otra obra que es también de las

principales demandantes de concreto, requerirá 51183 m³ de concreto tomando en cuenta también la subestación y la línea de transmisión. (ICE,2009).



Figura 32. Sitio de ubicación Casa de máquinas, P.H.R.

Caminos y campamentos: Entre las obras elementales que deben realizarse en un proyecto hidroeléctrico, se encuentran los campamentos. En estos se ubicará al personal del proyecto que no proviene de los alrededores de la zona y se ubicarán instalaciones tales como oficinas, habitaciones y servicios básicos. Debido a lo anterior, es una de las primeras obras en llevarse a cabo al igual que la construcción de los caminos de acceso a los distintos sitios de la obra. Para tal fin el proyecto requiere de 8118 m³ de concreto. (ICE, 2009).

Cuadro 4. Volúmenes de Consumo de Concreto por Obra	
Obras	Volumen (m3)
Conducción	122215
Presa Principal	108765
Vertedor de Excedencias	102530
Túneles de desvío	83291
Embalse	60000
Casa de Máquinas	51183
Toma de aguas	32333
Descarga de Fondo	16172
Caminos y campamentos	8118
Minicentral	6075
TOTAL	590683

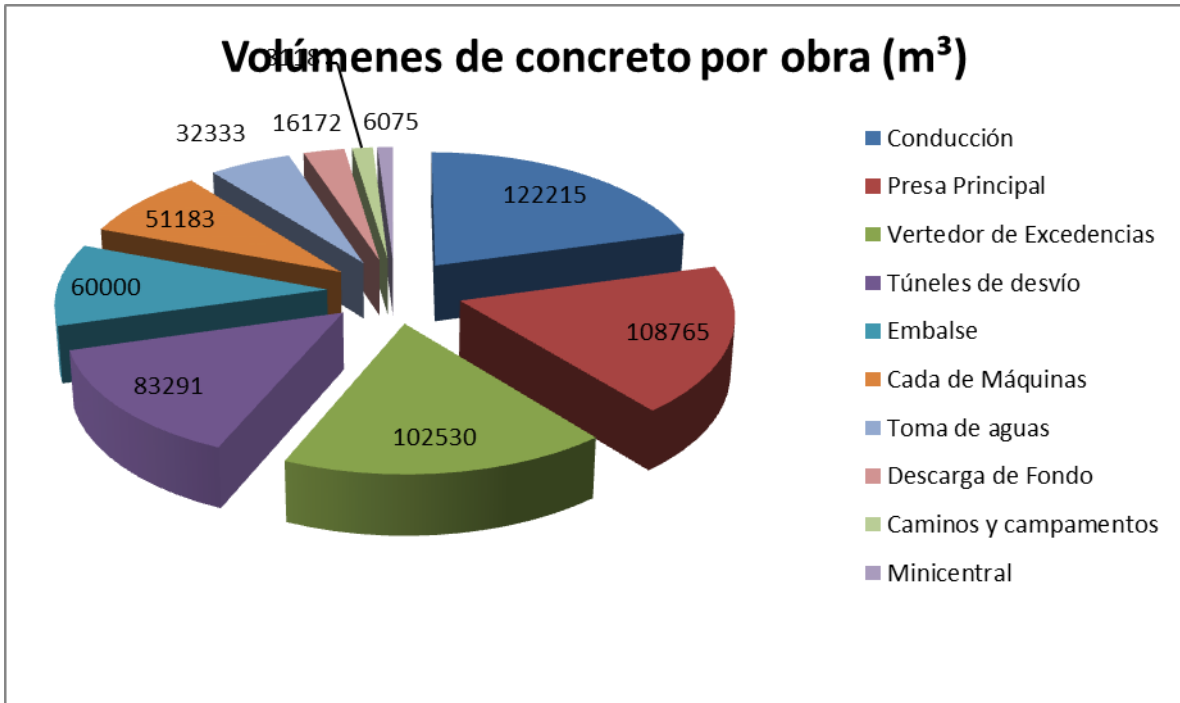


Figura 33. Gráfica de volúmenes de concreto consumidos por cada frente de trabajo.

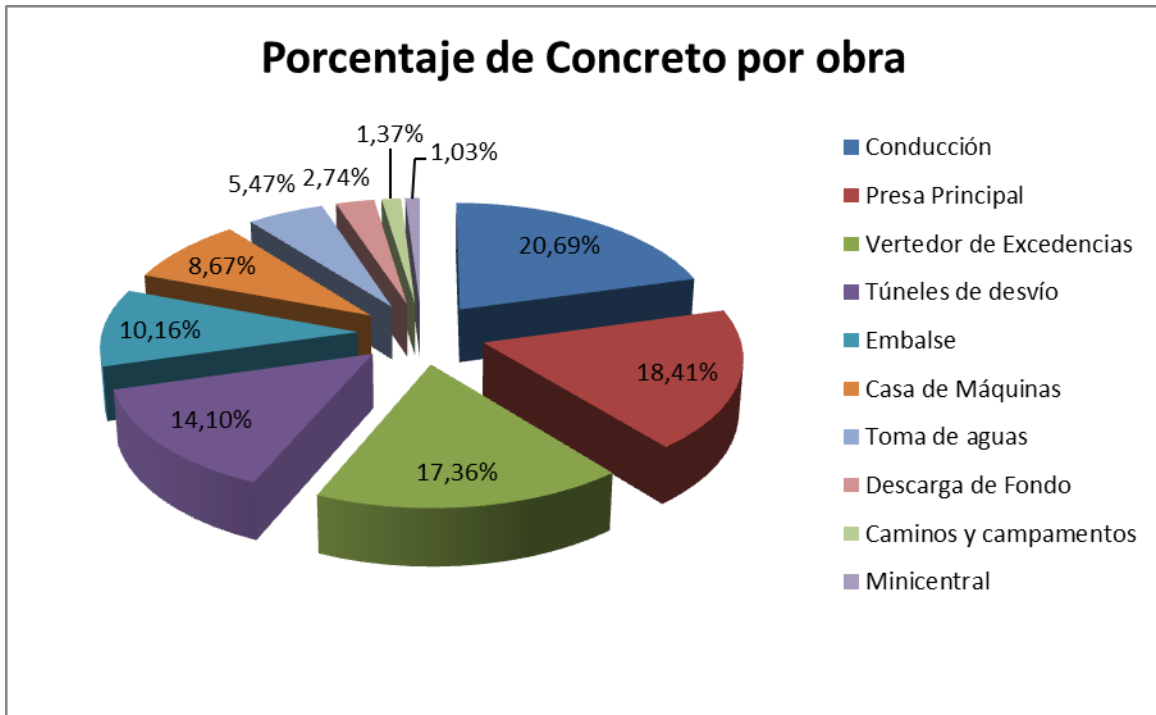


Figura 34. Porcentaje del Volumen total de concreto que consume cada obra.

Metodología

Para la elaboración de la estrategia por seguir en la producción del concreto involucrado en las distintas obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, primeramente se hizo necesario la identificación de todos y cada uno de los elementos que intervienen en este proceso. Esto porque el objetivo primordial del estudio realizado fue determinar la optimización del recurso económico y de material, razón por la cual no debe ser omitido ningún elemento que tenga incidencia en el valor por metro cúbico que genere el concreto.

De esta manera se hizo necesaria la elaboración de un flujo de concreto que permitiera establecer los volúmenes de material requeridos por cada obra y el momento en que serán solicitados. Para esto se procedió a interpretar los diseños propuestos que permiten la cuantificación de las cantidades de obra, así como también la programación del P.H.R.

También debieron manejarse los rendimientos prácticos de las distintas maquinarias, tiempos de montaje y desarme y disponibilidad de equipos, entre otros. Asimismo fue primordial tener clara la ubicación de las distintas obras, la determinación de distancias y tiempos de acarreo y el coste de cada uno de los insumos inmersos en el proceso de producción.

Con la obtención de dicha información fue posible determinar cuáles obras demandan mayor cantidad de concreto. De esta manera se propuso la ubicación del sistema de producción de forma tal que pueda asegurar un abastecimiento efectivo del concreto.

Los resultados que se presentan en este estudio dependieron de las siguientes premisas:

1. La medición de las distancias realizadas mediante los planos de caminos del proyecto, no comprendieron las modificaciones posteriores al 26 de febrero del 2011.
2. Los costos asociados a la producción del concreto fueron los costos estimados y

manejados por el Departamento de Planeamiento y Control hasta febrero del 2011.

3. Los volúmenes requeridos y la programación de la producción se basaron en el flujo de concreto disponible a marzo del 2011.
4. Los rendimientos de producción de la planta se basaron en el rendimiento real para la planta Pozzuolli, y en el máximo productivo que tuvieron en otros proyectos de acuerdo con sus operadores en el caso de la IME y la ARBAU.
5. La producción m^3/h que debe generar cada planta se obtuvo proporcionalmente a las horas laboradas por bisemana a partir del flujo de concreto.
6. Se estimó un valor de 16 horas diarias efectivas de producción para cada planta de concreto.
7. Se consideró que la producción de agregados para las distintas plantas se debe realizar en el quebrador ubicado en margen izquierda en el camino 16. Esto para la cuantificación del costo del acarreo que incide en el costo de los concretos.
8. En la estimación de la cantidad de ciclos se estimó que cada automezcladora transporta $6 m^3$.

Resultados

La cantidad de concreto requerido por cada obra, se representa en el gráfico del flujo de concreto (Apéndice 1) estimado a partir de los diseños de la respectiva obra, de la programación del proyecto y tomando como base experiencias pasadas. Así fue posible establecer, de acuerdo con los rendimientos de los diferentes frentes de trabajo, la solicitud de material que se tendrá en un período de tiempo (bisemana).

Una de las interpretaciones iniciales del flujo de concreto elaborado fue la obtención de gráficas que permiten el establecimiento de los picos de demanda del concreto, así como la proporción correspondiente para agregados de acuerdo con una planeación bisemanal, que es la manera en que se lleva a cabo la programación del proyecto. Así, para cada año se tiene un total de 26 bisemanas. De esta manera se hace posible prever el stock de material necesario y con el que se debe contar en determinado momento de la fase de ejecución del proyecto, con miras a que ninguna de las obras vea obstaculizado su avance. Así, la Figura 35 muestra el flujo de concreto del P.H.R., las Figuras 36, 37, 38 y 39 presentan gráficas del consumo de los distintos agregados y en la Figura 40 se presenta el consumo de cemento producto de los distintos diseños de mezcla.

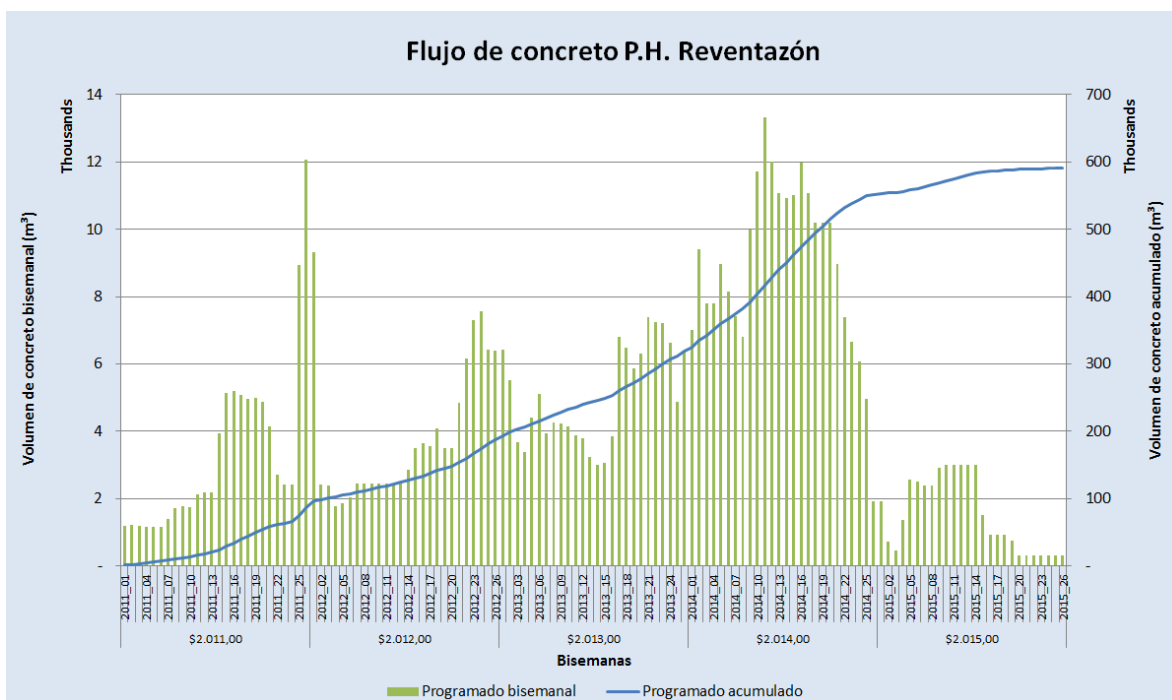


Figura 35. Gráfico del flujo de concreto del P.H.R.

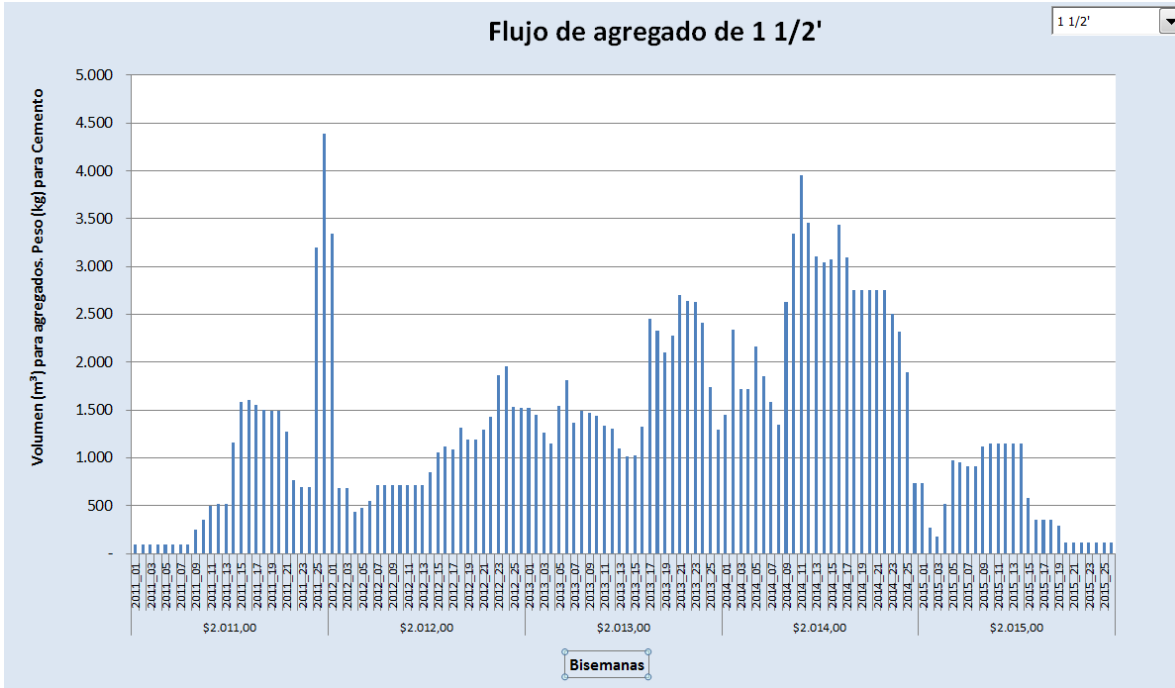


Figura 36. Gráfico del consumo de agregado de 1 1/2' en P.H.R.

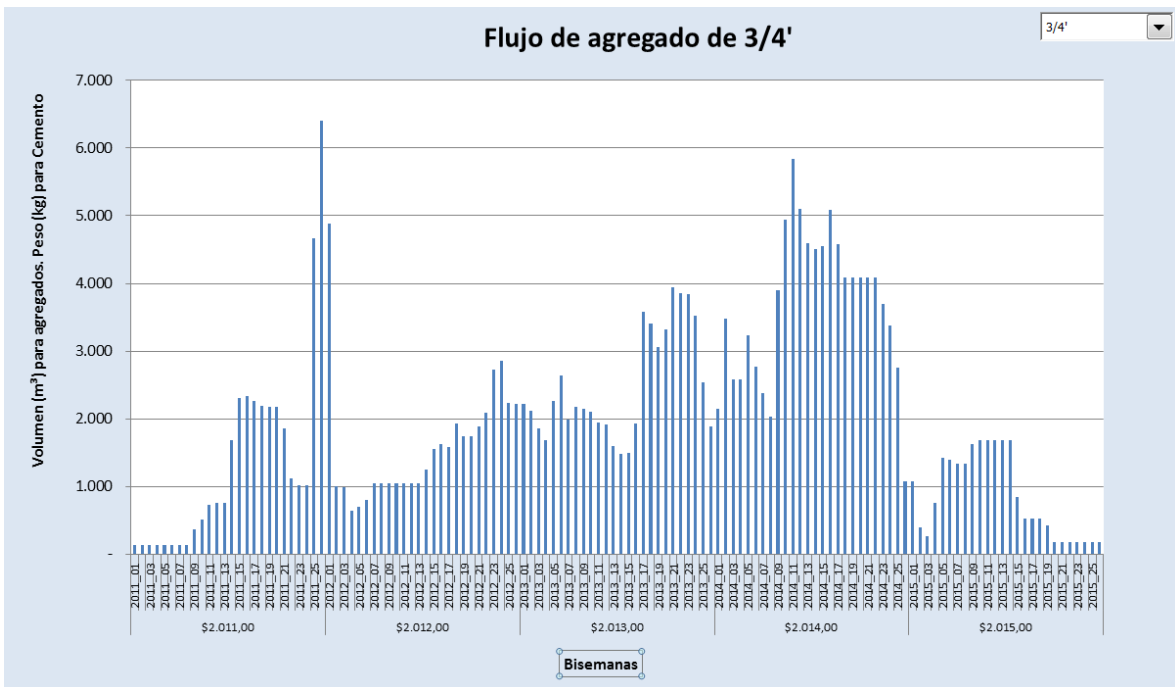


Figura 37. Gráfico del consumo de agregado de 3/4' en P.H.R.

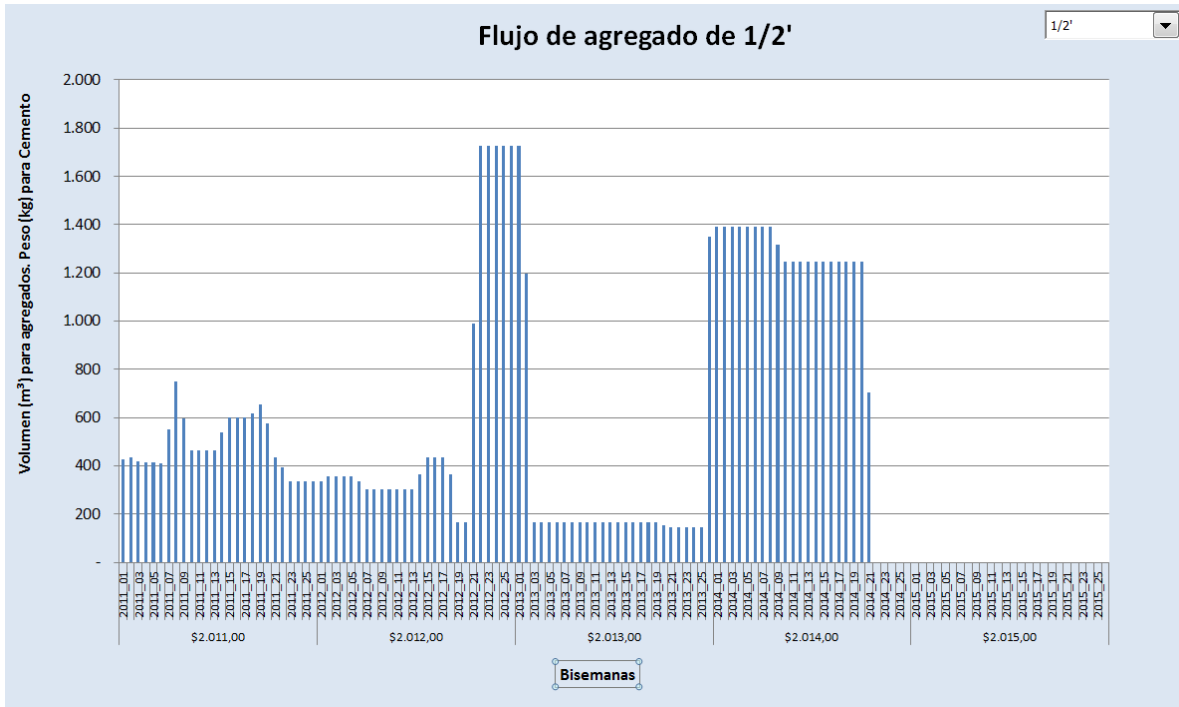


Figura 38. Gráfico del consumo de agregado de 1/2' en P.H.R.

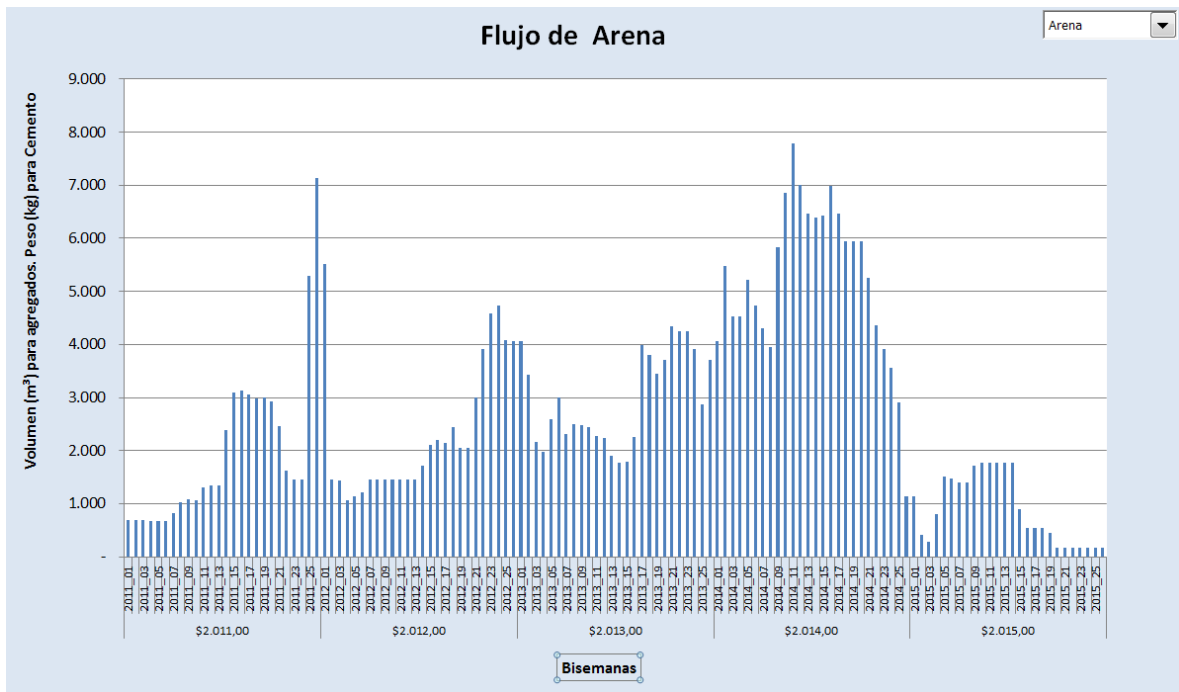


Figura 39. Gráfico del consumo de arena en P.H.R.

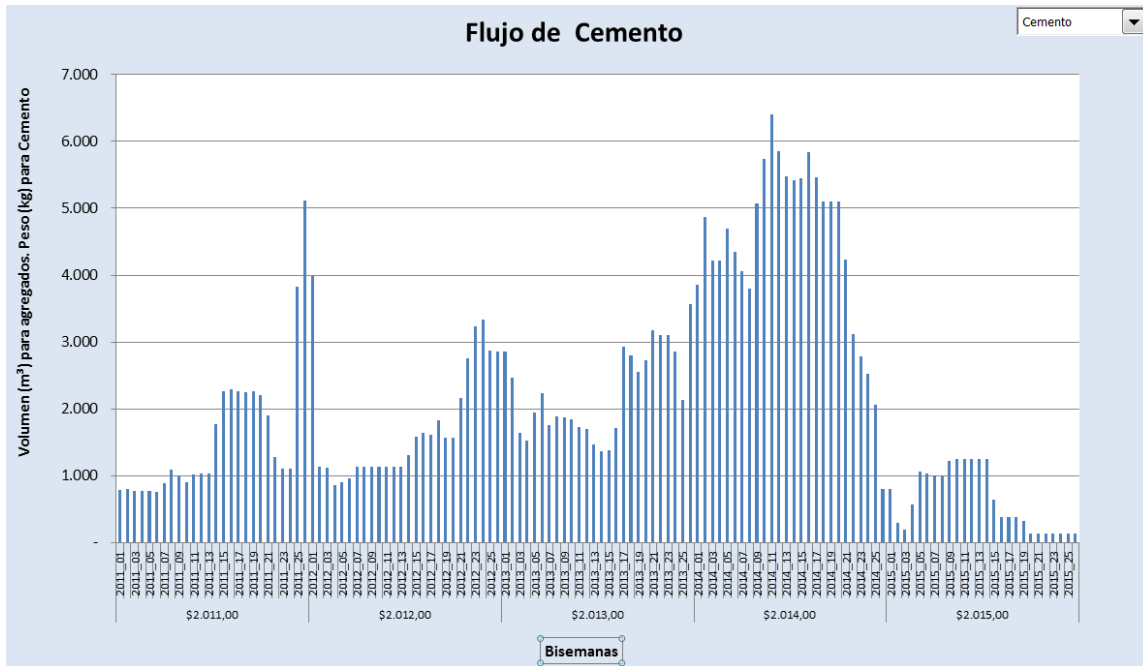


Figura 40. Gráfico de consumo bisemanal de cemento en P.H.R.

Por lo tanto, el abastecimiento adecuado del concreto tiene relación directa con la cantidad y sitio de ubicación de las plantas hormigoneras, igualmente con el rendimiento de dicha maquinaria y los ciclos de transporte del material que se puedan generar entre la planta y el lugar de colocación y requerimiento del concreto. De esta manera mediante la utilización del flujo de concreto es posible estimar la producción que estará a cargo de cada una de las plantas de producción, de tal forma que pueda evaluarse si la ubicación que se les da es la idónea y si tienen la capacidad para responder a la demanda.

A partir de un recorrido por las áreas que comprenden el P.H.R. se ubicaron 5 sitios que reúnen las condiciones para la instalación de una planta productora de concreto. Uno de estos sitios se ubica en la margen izquierda, junto al lugar que actualmente alberga la planta Pozzuoli frente al camino 12, otro está contiguo al área de ubicación del tanque de oscilación, uno más se ubica en la margen derecha por el sector de la escombrera #3, otro en el canal de aproximación del vertedor y finalmente otro en la aproximación de la presa aguas arriba.

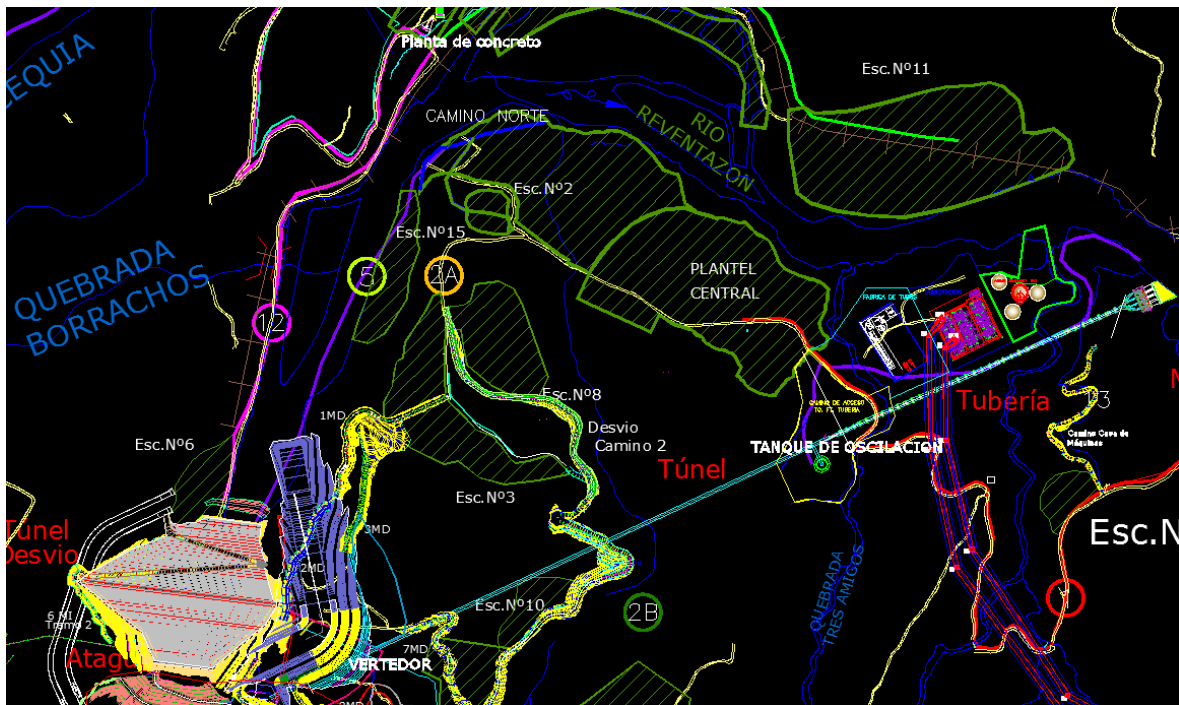


Figura 41. Plano de ubicación de obras en el P.H.R. Tomado del Departamento de Topografía.

Otro factor que determinó la ubicación de los sitios fue el volumen de concreto que se consumiría en cada una de las obras. Así, las obras que mayor cantidad de concreto demandan deben estar próximas a un centro de producción. Esa ubicación debe ser estratégica para suplir también y adecuadamente las obras que requieren menor volumen de concreto. Estos volúmenes de concreto por obra se muestran en la Figura 33.

Se decidió entonces considerar tres escenarios distintos de localizaciones y ubicar al menos 5 plantas con un rendimiento mayor a los 60 m³/h en las siguientes plantas: 3 en Pozzuoli, 1 en Arbau y 1 en IME. Esto con la finalidad de comprobar si este número de unidades productoras abastecerían al proyecto y con miras a escoger el escenario que genere un menor costo, tanto en la producción como en los acarreo del concreto y que, a su vez, optimice la colocación del concreto.

Los ciclos de acarreo de los concretos de las obras deberán ser estimados a partir de los planos de ubicación de las distintas obras y del trazado de los caminos existentes, dado que

durante el período de estudio aún no se contará con la instalación de la totalidad de las plantas ni se estará requiriendo concreto en todos los frentes de trabajo que lo van a demandar.

Para el cálculo o estimación de los ciclos de acarreo se tomaron en cuenta las distancias entre obras, a través de los caminos del P.H.R., así como también la velocidad de transporte de las automezcladoras, de manera que se pudiera establecer el tiempo de duración de los ciclos (Apéndice 3). Algunos tiempos de ciclo se obtuvieron homologando, para las automezcladoras, la medición de tiempos realizados por el área de extracción de agregados con las vagonetas (Anexo 1).

En el cálculo de las distancias obtenidas de planos se consideró un incremento de 20% de dicho recorrido, como respaldo de las diferencias con la realidad física de estos caminos (estado y pendientes) que puedan generar un aumento en el tiempo de acarreo del material.

La estimación del costo de la actividad de producción del concreto del proyecto, que toma en cuenta el montaje y desmontaje, el costo y acarreo de las materias primas, el pago por maquinaria y equipo, la planilla, entre otros; se detalla en una hoja de cálculo que se elaboró para cada una de las plantas de los distintos

escenarios (Apéndice 5 y Apéndice digital). Esta hoja de cálculo tendrá sus variantes puesto que existen otros costos como la tarifa que cobra la planta que difiere entre uno u otro equipo de producción. Sin embargo, también se manejaron montos iguales ante el desconocimiento de los costos que se generarán. No obstante, estos podrán irse actualizando a través de esta herramienta conforme avanza el P.H.R.

Según el diseño de mezcla así varía el peso o porcentaje de los costos productivos del concreto, tal y como se observa en la tabla resumen que se presenta en el cuadro 5.

	Costo de agregados	Costo de cemento	Costo de aditivo	Costo de operación	Costo de instalación
140-19-2 #7	14,33%	21,61%	2,23%	52,98%	8,85%
140-38-2 #1	14,95%	21,45%	2,22%	52,60%	8,78%
175-19-2 #5	13,78%	23,44%	2,42%	51,72%	8,64%
210-19-2 #6	12,28%	27,00%	2,79%	49,64%	8,29%
210-38-2 #9	13,83%	25,02%	2,59%	50,18%	8,38%
280-19-2 #4	11,74%	29,09%	3,01%	48,13%	8,04%
350-19-2 #2	11,02%	31,55%	3,26%	46,41%	7,75%
CLVH 210-13-2 #1 (sin fibra)	11,87%	29,04%	3,00%	48,06%	8,02%
CLVH 210-13-2 #1 (con fibra)	7,00%	17,14%	1,77%	28,36%	4,74%
CLVH 280-13-2 #5 (sin fibra)	9,10%	36,25%	3,75%	43,63%	7,28%
CLVH 280-13-2 #5 (con fibra)	5,58%	22,23%	2,30%	26,76%	4,47%
CLVH 350	5,57%	22,23%	2,30%	26,76%	4,47%
RCC	16,00%	20,03%	2,07%	53,04%	8,86%
CLVS 210-13-2 (con fibra)	9,47%	17,15%	1,77%	32,44%	5,42%
Promedio	11,18%	24,52%	2,53%	43,62%	7,28%

Cada una de las obras que requiere del concreto para su consecución se compone; a su vez; de distintas obras específicas como se aprecia en el flujo de concreto para el caso de la toma de aguas (Apéndice 1). Cada una de estas obras se agruparon por zona de despacho con la finalidad de realizar el cálculo de los acarrees, considerando que cada sub-obra no se aleja una de la otra.

Una vez establecidos los costos que tendrá la producción de cada uno de los concretos, es importante determinar el costo relacionado con el acarreo de estos a las distintas obras. Por lo tanto, primero se determinaron las distancias entre los sitios de despacho y el sitio de producción correspondiente. Para ello se elaboró un cuadro que recopila distancias entre puntos importantes del proyecto; estas distancias se obtienen de dos maneras distintas: una

mediante la visita de cada obra en auto por lo que se mide el kilometraje que este alcanza, esto es posible para los sitios que en este momento cuentan con accesos y dos, para los sitios a los que aún no se puede acceder se determinan estas distancias mediante los planos de caminos que proporciona la topografía (Apéndice 3).

Para la obtención de la distancia del sitio donde será despachado hasta la planta productora, se toma como punto de referencia la distancia entre los posibles sitios de ubicación de las plantas de concreto en cada uno de los escenarios y la obra, en general, a la que serán transportados (Apéndice 3).

El tiempo de acarreo y retorno son calculados mediante la relación de las distancias (Apéndice 3) y un valor de velocidad para la auto-mezcladora. Dicho valor es de 15 km/h, y se utiliza luego de consultar con el Departamento de

Maquinaria y con el ingeniero Guillermo Leiva del Departamento de Construcción del P.H.R.

En el proyecto se estima que un camión auto-mezclador puede viajar a 20 km/h sin carga y a 15 km/h cargado, por lo que la velocidad menor da como resultado un mayor tiempo de viaje, no obstante, se prefiere esta última como factor de seguridad.

Por otra parte, el tiempo de descarga es variable dependiendo de si esta se hace directa o si se hace mediante bomba. Estos tiempos se muestran en el Apéndice 3 del documento. Se escogió el escenario más crítico (mayor duración) como respaldo. En el caso de las obras de los

túneles, si se les ha medido la descarga en el lanzado de concreto, se emplea el tiempo correspondiente. Diez minutos sería el valor de tiempo por considerar en la descarga. Este es consultado al encargado de la planta de concreto, Juan Carlos Mata Bonilla. El tiempo de carga de 8 minutos aproximadamente es obtenido mediante la observación del trabajo que realiza la planta productora.

El Cuadro 6 muestra los valores de duración de ciclos entre la planta que abastece y el sitio al que se despacha el concreto.

Cuadro 6. Tiempos de ciclo entre los sitios de despacho y las plantas productoras de concreto.							
CICLOS (h)							
OBRAS	PLANTA						
	Pozzuolli MI	IME MI	ARBAU Casa Máquinas	Pozzuolli 2 Vertedor	Pozzuolli Vertedor	Pozzuolli Escombrera	
TÚNELES DE DESVÍO	1,20	1,20					
DESCARGA DE FONDO				0,62	0,38	1,43	
PRESA PRINCIPAL	0,70	0,70		0,43	0,47	1,31	
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS				0,67	0,35	1,43	
TOMA DE AGUAS				0,70	0,38		
EMBALSE				0,70	0,97	1,31	
MINICENTRAL			0,90			0,59	
CONDUCCIÓN			0,59				
TANQUE DE OSCILACIÓN			0,46				
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LINEA DE TRANSMISIÓN			0,40				
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	0,78						

Mediante una hoja de cálculo (Apéndice 4 y Apéndice digital) y para cada uno de los escenarios, se reparten los volúmenes de cada obra según la planta de concreto que le suministraría dicho material.

Escenario 1

Este primer escenario considera la ubicación de dos plantas en la margen izquierda, sobre el camino 12, en donde ya está ubicada la planta Pozzuolli (Se ubicaría también la planta IME), la ubicación de la planta Arbau en un área cercana al tanque de oscilación (denominada en los cuadros como Arbau Casa Máquinas), otra de las plantas Pozzuolli en casa de máquinas y una tercera planta Pozzuolli en un área que está próxima a la escombrera #3. Esta ubicación se muestra en la Figura 42.

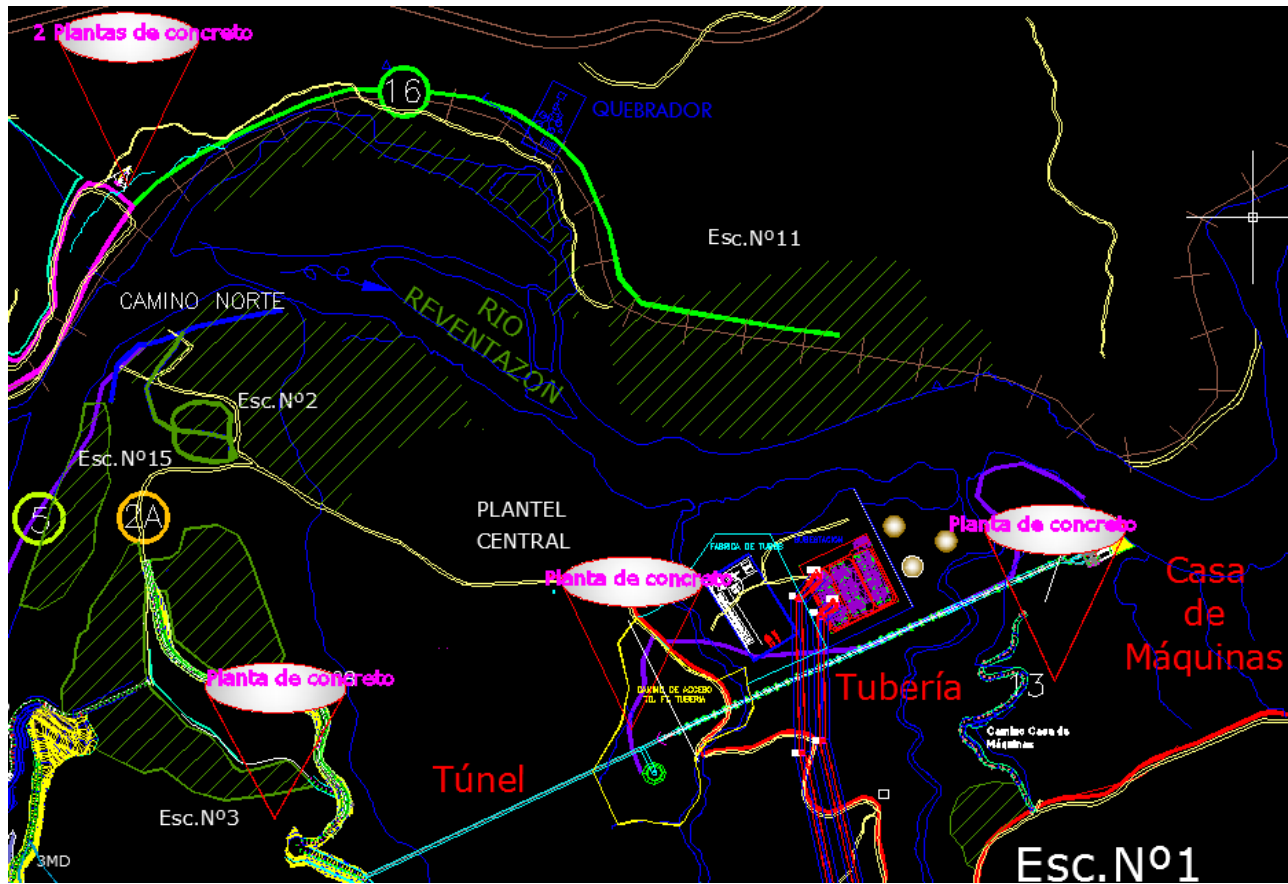


Figura 42. Ubicación plantas de concreto para el escenario 1.

En el Apéndice 6 (Cuadro 58) se muestra un flujo del concreto con la solicitud bisemanal por planta de concreto. En la columna de la izquierda aparece el nombre de la planta productora y en las demás columnas se ubican los volúmenes correspondientes al número de bisemanas de un año determinado.

De esta manera se muestra en la siguiente tabla, el requerimiento de concreto que tendrá cada una de las plantas durante la ejecución del P.H.R.

El rendimiento es el rendimiento nominal de la planta disminuido en un 40%, debido a que, según el Ing. César Roque, de experiencia en proyectos anteriores, se ha determinado que las plantas no generan más del 60% de su capacidad nominal, mientras que la producción es el

rendimiento que deberían dar las plantas de concreto de acuerdo con los volúmenes. Esta producción se obtiene de dividir el máximo bisemanal entre 10 días que se asumen por bisemana y 16 horas que son asumidas como efectivas del total de 24 horas, recordando que se trabaja a dos turnos de 12 horas. A esto se le agrega un factor de incremento que se obtiene de relacionar la producción esperada en las plantas que abastecen el vertedor y en las máximas coladas planeadas para el vertedor, según información suministrada por el Ing. César Roque, quien indica que se obtendrá un máximo de 60 m³/h. De esta manera se brinda un incremento a la producción de cada planta, lo que beneficia al factor de seguridad.

$$\text{Factor de incremento} = \frac{m^3/h_{(MAX)} - m^3/h_{(PROM)}}{m^3/h_{(PROM)}} = \frac{60 - 42,51}{42,51} = 41,1\%$$

Cuadro 7. Producciones de concreto por planta de abastecimiento para el escenario 1.					
PLANTA DE CONCRETO	MÁXIMO BISEMANAL (m³)	BISEMANA	RENDIMIENTO (m³/h)	PRODUCCIÓN (m³/h)	TOTAL (m³)
Pozzuolli MI	10131,66	2011_26	48,00	89,29	87939,71
IME MI	2687,21	2011_15	42,00	23,68	38206,21
ARBAU Casa Máquinas	2371,59	2014_02	60,00	20,90	75053,00
Pozzuolli Casa Máquinas	4535,39	2014_10	48,00	39,97	98344,70
Pozzuolli Escombrera #3	6801,69	2014_11	48,00	59,94	291138,95

Muestra el máximo consumo por bisemana y la bisemana en que este se produce, además el rendimiento esperado de la planta y el rendimiento con base en la producción total, y también el total de concreto por producir por la planta en el P.H.R.

Cuadro 8. Sitios despachados por planta de concreto para el escenario 1.					
SITIOS DE DESPACHO	PLANTAS DE CONCRETO				
	POZZUOLLI MI	IME MI	ARBAU CASA MÁQUINAS	POZZUOLLI CASA MÁQUINAS	POZZUOLLI ESCOMBRERA #3
TÚNELES DE DESVÍO	X	X			
DESCARGA DE FONDO					X
PRESA PRINCIPAL	X	X			X
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS					X
TOMA DE AGUAS					X
EMBALSE					X
MINICENTRAL					X
CONDUCCIÓN			X	X	
Tanque de Oscilación			X		
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN			X	X	
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	X				

Se muestran marcadas con una equis las plantas que despachan concreto a obras de un determinado sitio de despacho.

Al repartir los volúmenes que proveerá cada planta se realiza un flujo de concreto para cada una de las plantas, en los cuales se muestran los sitios de despacho (Apéndice 6, Cuadros 59-63).

En los Cuadros 9, 11, 13, 15, 17 se muestran los volúmenes por diseño que produce cada planta del escenario y su costo de

producción (los diseños se explican al inicio del documento en la sección simbología), mientras que en los Cuadros 10, 12, 14, 16, 18 se muestra el volumen de acarreo, cantidad de ciclos y costos por planta según el sitio de despacho.

Cuadro 9. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	56.899,78	€2.606.859.768,07
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	5.885,44	€282.812.954,94
CLVS 210-13-2 *	9.501,31	€778.596.565,05
TOTAL	72.286,52	€3.668.269.288,06

Cuadro 10. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	54.999,66	9.166,61	€231.640.241,27
PRESA PRINCIPAL	24.821,62	4.136,94	€60.812.978,75
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	8.118,42	1.353,07	€22.163.289,77
TOTAL	87.939,71		€314.616.509,80

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 11. Volumen y costo de producción, planta IME MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	2.861,60	€184.031.751,46
210-38-2	46.323,08	€3.156.364.371,70
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	0,00	€0,00
CLVS 210-13-2	4.674,71	€487.428.585,69
TOTAL	53.859,39	€3.827.824.708,85

Cuadro 12. Volumen y costo de acarreo, planta IME MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	28.291,60	4.715,27	€119.154.788,67
PRESA PRINCIPAL	9.914,61	1.652,43	€24.290.785,49
TOTAL	38.206,21		€143.445.574,15

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 13. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli de Casa de máquinas		
Diseños	Volumen (m ³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	Ø0,00
210-38-2	98.344,70	Ø4.616.490.901,49
280-38-2	0,00	Ø0,00
CLVH 210	0,00	Ø0,00
CLVS 210-13-2 *	0,00	Ø0,00
TOTAL	98.344,70	Ø4.616.490.901,49

Cuadro 14. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli de Casa de máquinas			
Destinos	Volumen (m ³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
CONDUCCIÓN	69.344,70	11.557,45	Ø144.264.713,88
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN	29.000,00	4.833,33	Ø40.194.000,00
TOTAL	98.344,70		Ø184.458.713,88

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 15. Volumen y costo de producción, planta Arbau de Casa de máquinas.		
Diseños	Volumen (m ³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	Ø0,00
210-38-2	68.287,00	Ø3.530.495.266,94
280-38-2	0,00	Ø0,00
CLVH 210	6.766,00	Ø364.927.651,77
CLVS 210-13-2	0,00	Ø0,00
TOTAL	75.053,00	Ø3.895.422.918,71

Cuadro 16. Volumen y costo de acarreo, planta Arbau de Casa de máquinas.			
Destinos	Volumen (m ³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
CONDUCCIÓN	17.870,00	2.978,33	Ø37.176.748,00
Tanque de Oscilación	35.000,00	5.833,33	Ø56.350.000,00
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN	22.183,00	3.697,17	Ø30.745.638,00
TOTAL	75.053,00		Ø124.272.386,00

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 17. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli de la escombrera #3.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	0,00
210-38-2	164.412,92	5.880.590.780,76
280-38-2	29.165,00	1.105.147.661,31
CLVH 210	86.097,00	3.272.027.862,78
CLVS 210-13-2	11.464,03	825.553.928,85
TOTAL	291.138,95	11.083.320.233,70

Cuadro 18. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli de la escombrera #3.			
Destinos	Volumen(m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
DESCARGA DE FONDO	16.172,00	2.695,33	81.129.533,33
PRESA PRINCIPAL	74.028,95	12.338,16	340.286.411,50
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS	102.530,00	17.088,33	514.358.833,33
TOMA DE AGUAS	32.333,00	5.388,83	162.203.883,33
EMBALSE	60.000,00	10.000,00	259.000.000,00
MINICENTRAL	6.075,00	1.012,50	12.601.008,00
TOTAL	291.138,95		1.369.579.669,50

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 19. Costos por planta de concreto, para el escenario 1.			
	COSTOS DE PRODUCCIÓN	COSTOS DE ACARREO	COSTOS TOTALES
Planta Pozzuolli MI	3.668.269.288,06	314.616.509,80	3.982.885.797,86
IME MI	3.827.824.708,85	143.445.574,15	3.971.270.283,00
Arbau Casa Máquinas	3.895.422.918,71	124.272.386,00	4.019.695.304,71
Pozzuolli Casa Máquinas	4.616.490.901,49	184.458.713,88	4.800.949.615,37
Pozzuolli Escombrera #3	11.083.320.233,70	1.369.579.669,50	12.452.899.903,20
TOTAL			29.227.700.904,15

Escenario 2

El segundo escenario igualmente considera en la margen izquierda, sobre el camino 12, la instalación de la planta IME al lado de la planta Pozzuolli que está actualmente instalada, la ubicación de la planta Arbau en un área cercana

al tanque de oscilación (denominada en los cuadros como Arbau Casa Máquinas), la planta Pozzuolli en un área próxima a la escombrera #3 y la otra planta Pozzuolli en el canal de aproximación del vertedor. La Figura 43 muestra la ubicación anteriormente descrita.

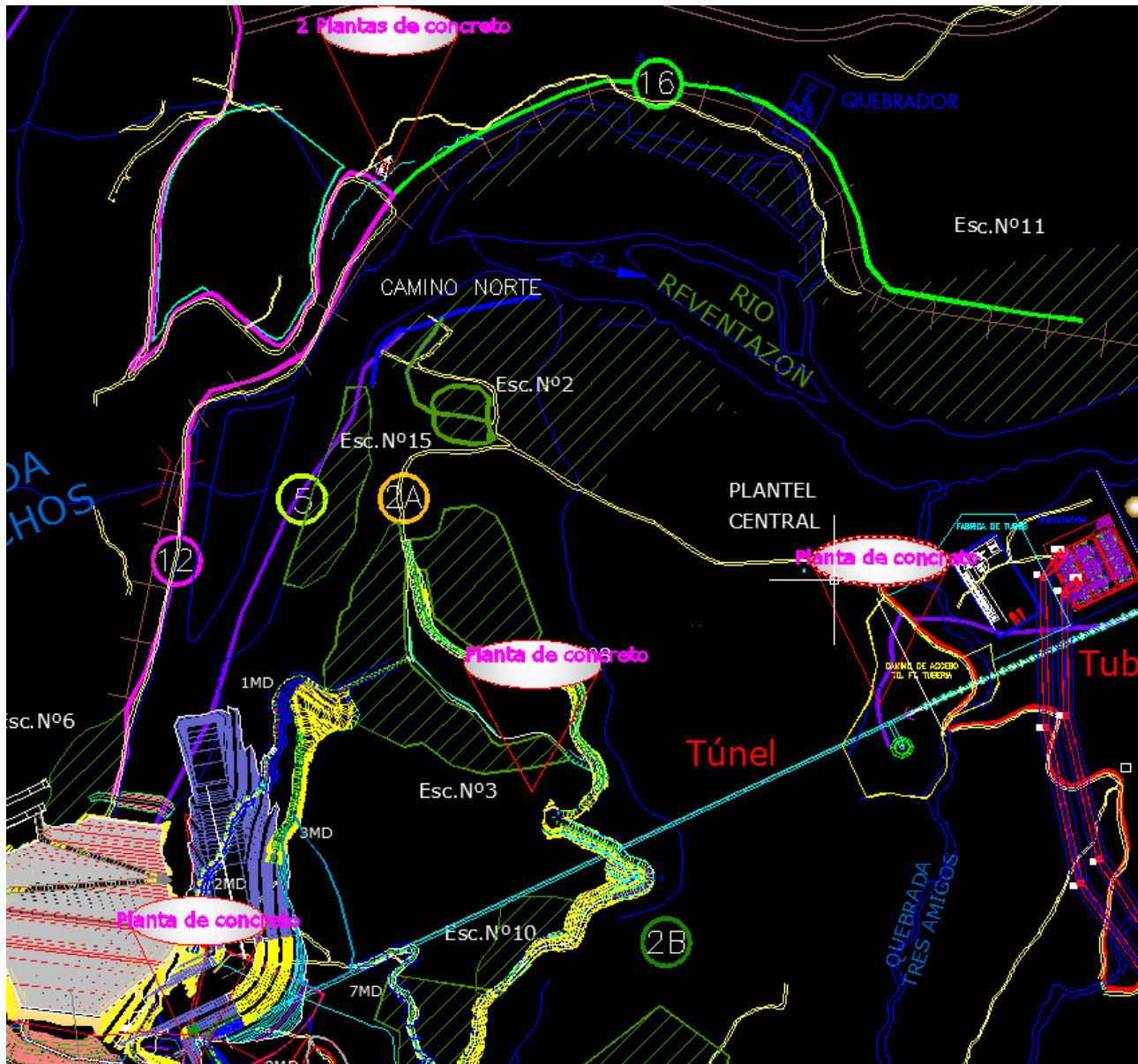


Figura 43. Ubicación de plantas de concreto para el escenario 2.

En el Apéndice 7 (Cuadro 64) se muestra un flujo de concreto con la solicitud bisemanal por planta de concreto. En la columna de la izquierda aparece el nombre de la planta productora y en las demás columnas se ubican los volúmenes correspondientes al número de bisemanas de un año determinado.

De esta manera se muestra en la siguiente tabla el requerimiento de concreto que

tendrá cada una de las plantas durante la ejecución del P.H.R.

El rendimiento es el rendimiento nominal de la planta disminuido en un 40% debido a que, según el Ing. César Roque, de experiencia en proyectos anteriores, se ha determinado que las plantas no generan más del 60% de su capacidad nominal, mientras que la producción es el rendimiento que deberían dar las plantas de concreto de acuerdo con los volúmenes. Esta

producción se obtiene de dividir el máximo bisemanal entre 10 días que se asumen por bisemana y 16 horas que son asumidas como efectivas del total de 24 horas, recordando que se trabaja a dos turnos de 12 horas. A esto se le agrega un factor de incremento que se obtiene de relacionar la producción esperada en las plantas que abastecen el vertedor y en las máximas coladas planeadas para el vertedor, según

información suministrada por el Ing. César Roque, quien indica que se tendrá un máximo de 60 m³/h. De esta manera se brinda un incremento a la producción de cada planta, lo que beneficia al factor de seguridad.

$$\text{Factor de incremento} = \frac{m^3/h_{(MAX)} - m^3/h_{(PROM)}}{m^3/h_{(PROM)}} = \frac{60 - 37,08}{37,08} = 61,8\%$$

PLANTA DE CONCRETO	MÁXIMO BISEMANAL (m ³)	BISEMANA	RENDIMIENTO (m ³ /h)	PRODUCCIÓN (m ³ /h)	TOTAL (m ³)
Pozzuolli MI	10131,66	2011_26	48,00	102,58	87939,71
IME MI	2687,21	2011_15	42,00	27,21	38206,21
ARBAU Casa Máquinas	6504,81	2014_11	60,00	65,86	173397,70
Pozzuolli Vertedor	5932,60	2013_22	48,00	60,07	197547,00
Pozzuolli Escombrera #3	2943,65	2014_10	48,00	29,80	93591,95

Muestra el máximo consumo por bisemana y la bisemana en que este se produce, además el rendimiento esperado de la planta y el rendimiento con base en la producción total, y también el total de concreto por producir por la planta en el P.H.R.

SITIOS DE DESPACHO	PLANTAS DE CONCRETO				
	POZZUOLLI MI	IME MI	ARBAU CASA MÁQUINAS	POZZUOLLI VERTEDOR	POZZUOLLI ESCOMBRERA #3
TUNELES DE DESVÍO	X	X			
DESCARGA DE FONDO				X	
PRESA PRINCIPAL	X	X		X	X
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS				X	
TOMA DE AGUAS				X	
EMBALSE					X
MINICENTRAL					X
CONDUCCIÓN			X		
Tanque de Oscilación			X		
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN			X		
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	X				

Se muestran marcadas con una equis las plantas que despachan concreto a obras de un determinado sitio de despacho.

Al repartir los volúmenes que proveerá a cada planta se obtiene un flujo de concreto para cada una de estas. Además, en cada una de las

plantas se muestran los sitios de despacho (Apéndice 7, Cuadros: 65-69).

En los Cuadros 22, 24, 26, 28, 30 se muestran los volúmenes por diseño que produce

cada planta del escenario y su costo de producción (dichos diseños se explican en la sección de simbología al inicio del documento), mientras que en los Cuadros 23, 25, 27, 29 y 31

se muestran el volumen de acarreo, la cantidad de ciclos y costos por planta, según el sitio de despacho.

Cuadro 22. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	Ø0,00	Ø0,00
210-38-2	Ø56.899,78	Ø2.606.859.768,07
280-38-2	Ø0,00	Ø0,00
CLVH 210	Ø5.885,44	Ø282.812.954,94
CLVS 210-13-2 *	Ø9.501,31	Ø778.596.565,05
TOTAL	Ø72.286,52	Ø3.668.269.288,06

Cuadro 23. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	54.999,66	9.166,61	Ø231.640.241,27
PRESA PRINCIPAL	24.821,62	4.136,94	Ø60.812.978,75
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	8.118,42	1.353,07	Ø22.163.289,77
TOTAL	87.939,71		Ø314.616.509,80

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 24. Volumen y costo de producción, planta IME MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	2.861,60	Ø184.031.751,46
210-38-2	46.323,08	Ø3.156.364.371,70
280-38-2	0,00	Ø0,00
CLVH 210	0,00	Ø0,00
CLVS 210-13-2	4.674,71	Ø487.428.585,69
TOTAL	53.859,39	Ø3.827.824.708,85

Cuadro 25. Volumen y costo de acarreo, planta IME MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	28.291,60	4.715,27	€119.154.788,67
PRESA PRINCIPAL	9.914,61	1.652,43	€24.290.785,49
TOTAL	38.206,21		€143.445.574,15

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 26. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli del vertedor		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	141.285,00	€5.653.271.617,56
280-38-2	29.165,00	€1.228.231.496,68
CLVH 210	26.097,00	€1.102.502.448,97
CLVS 210-13-2	1.000,00	€76.580.885,44
TOTAL	197.547,00	€8.060.586.448,66

Cuadro 27. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli del vertedor			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
DESCARGA DE FONDO	16.172,00	2.695,33	€21.508.760,00
PRESA PRINCIPAL	46.512,00	7.752,00	€0,00
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS	102.530,00	17.088,33	€124.881.540,00
TOMA DE AGUAS	32.333,00	5.388,83	€43.002.890,00
TOTAL	197.547,00		€189.393.190,00

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 28. Volumen y costo de producción, planta Arbau de Casa de máquinas		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	166.631,70	€6.716.013.111,18
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	6.766,00	€287.820.248,57
CLVS 210-13-2	0,00	€0,00
TOTAL	173.397,70	€7.003.833.359,75

Cuadro 29. Volumen y costo de acarreo, planta Arbau de Casa de máquinas			
Destinos	Volumen(m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
CONDUCCIÓN	87.214,70	14.535,78	¢181.441.461,88
Tanque de Oscilación	35.000,00	5.833,33	¢56.350.000,00
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN	51.183,00	8.530,50	¢70.939.638,00
TOTAL	173.397,70		¢308.731.099,88

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 30. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli de la escombrera #3.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	¢0,00
210-38-2	23.127,92	¢1.080.088.521,15
280-38-2	0,00	¢0,00
CLVH 210	60.000,00	¢2.936.243.601,32
CLVS 210-13-2	10.464,03	¢867.949.020,26
TOTAL	93.591,95	¢4.884.281.142,73

Cuadro 31. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli de la escombrera #3.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
PRESA PRINCIPAL	27.516,95	4.586,16	¢126.486.251,50
EMBALSE	60.000,00	10.000,00	¢275.800.000,00
MINICENTRAL	6.075,00	1.012,50	¢12.601.008,00
TOTAL	93.591,95		¢414.887.259,50

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 32. Costos por planta de concreto, para el escenario 2.			
	COSTOS DE PRODUCCIÓN	COSTOS DE ACARREO	COSTOS TOTALES
Planta Pozzuolli MI	¢3.668.269.288,06	¢314.616.509,80	¢3.982.885.797,86
IME MI	¢3.827.824.708,85	¢143.445.574,15	¢3.971.270.283,00
Arbau Casa Máquinas	¢7.003.833.359,75	¢308.731.099,88	¢7.312.564.459,63
Pozzuolli Escombrera #3	¢4.884.281.142,73	¢414.887.259,50	¢5.299.168.402,23
Pozzuolli Vertedor	¢8.060.586.448,66	¢189.393.190,00	¢8.249.979.638,66
TOTAL			¢28.815.868.581,38

Escenario 3

El tercer escenario presenta las mismas dos plantas en margen izquierda, según las opciones anteriores. Así, la planta Arbau se ubicaría en un área cercana al tanque de oscilación (denominada en los cuadros como Arbau Casa

Máquinas), una de las plantas Pozzuolli se ubicaría en un relleno en la aproximación a la presa aguas arriba (designada en los cuadros como Pozzuolli 2 Vertedor) y la otra en el vertedor en el sector del canal de aproximación. En la Figura 44 se señalan los sitios donde se ubicarían las plantas de concreto anteriormente citadas.

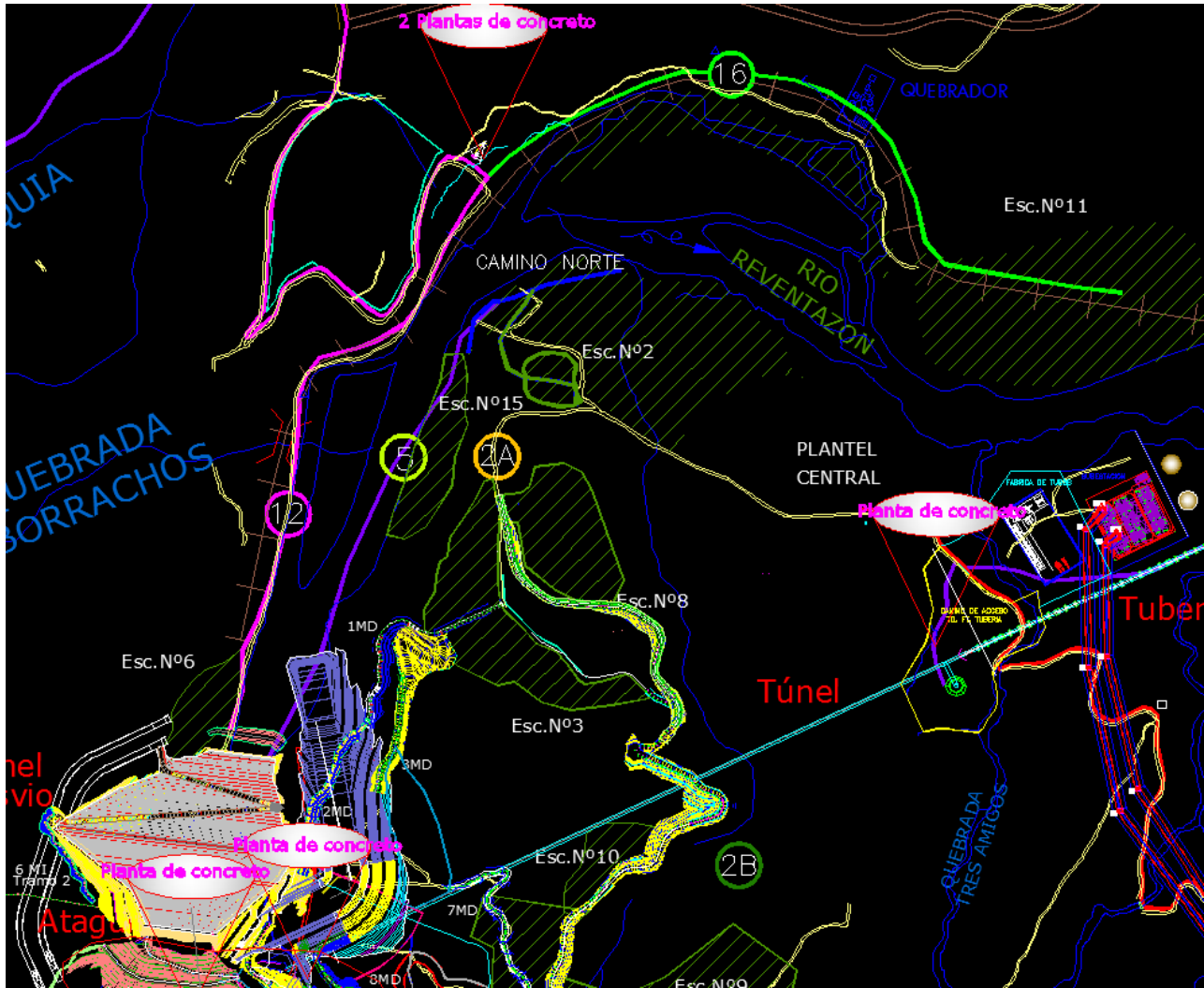


Figura 44. Ubicación plantas de concreto para el escenario 3

En el Apéndice 8 (Cuadro 70) se muestra un flujo de concreto con la solicitud bisemanal por planta de concreto. En la columna de la izquierda aparece el nombre de la planta productora y en las demás columnas se ubican los volúmenes correspondientes al número de bisemanas de un año determinado.

De esta manera se muestra en la siguiente tabla el requerimiento de concreto que tendrá cada una de las plantas durante la ejecución del P.H.R.

El rendimiento es el rendimiento nominal de la planta disminuido en un 40% debido a que, según el Ing. César Roque, de experiencia en

proyectos anteriores, se ha determinado que las plantas no generan más del 60% de su capacidad nominal, mientras que la producción es el rendimiento que deberían dar las plantas de concreto de acuerdo con los volúmenes. Esta producción se obtiene de dividir el máximo bisemanal entre 10 días que se asumen por bisemana y 16 horas que son asumidas como efectivas del total de 24 horas, recordando que se trabaja a dos turnos de 12 horas. A esto se le

agrega un factor de incremento que se obtiene de relacionar la producción esperada en las plantas que abastecen el vertedor y en las máximas coladas planeadas para el vertedor, según información suministrada por el Ing. César Roque, quien indica que se tendrá un máximo de 60 m³/h. De esta manera se brinda un incremento a la producción de cada planta, lo que beneficia al factor de seguridad.

$$\text{Factor de incremento} = \frac{m^3/h_{(MAX)} - m^3/h_{(PROM)}}{m^3/h_{(PROM)}} = \frac{60 - 41,8}{41,8} = 43,5\%$$

PLANTA DE CONCRETO	MÁXIMO BISEMANAL (m³)	BISEMANA	RENDIMIENTO (m³/h)	PRODUCCIÓN (m³/h)	TOTAL (m³)
Pozzuolli MI	10131,66	2011_26	48,00	91,18	87939,71
IME MI	2687,21	2011_15	42,00	24,18	38206,21
ARBAU Casa Máquinas	6616,17	2014_11	60,00	59,55	179472,70
Pozzuolli Vertedor	5792,96	2013_21	48,00	52,14	187963,03
Pozzuolli 2 Vertedor	3489,70	2014_10	48,00	31,41	97100,92

Muestra el máximo consumo por bisemana y la bisemana en que este se produce, además el rendimiento esperado de la planta y el rendimiento con base en la producción total, y también el total de concreto por producir por la planta en el P.H.R.

SITIOS DE DESPACHO	PLANTAS DE CONCRETO				
	POZZUOLLI MI	IME MI	ARBAU CASA MÁQUINAS	POZZUOLLI VERTEDOR	POZZUOLLI 2 VERTEDOR
TUNELES DE DESVÍO	X	X			
DESCARGA DE FONDO					X
PRESA PRINCIPAL	X	X		X	X
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS				X	
TOMA DE AGUAS				X	
EMBALSE					X
MINICENTRAL			X		
CONDUCCIÓN			X		
Tanque de Oscilación			X		
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN			X		
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	X				

Se muestran marcadas con una equis las plantas que despachan concreto a obras de un determinado sitio de despacho.

Al repartir los volúmenes que proveerá a cada planta, se obtiene un flujo de concreto para cada

una de estas. Además en cada una de las plantas se muestran los sitios de despacho (Anexo 8, Cuadros 71-75).

En los Cuadros 35, 37, 39, 41, 43 se muestran los volúmenes por diseño (estos diseños se detallan en la sección de simbología al inicio del documento) que produce cada planta del

escenario y su costo de producción. Mientras que en los Cuadros 36, 38, 40, 42, 44 se muestra el volumen de acarreo cantidad de ciclos y costos por planta, según el sitio de despacho.

Cuadro 35. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	56.899,78	€2.606.859.768,07
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	5.885,44	€282.812.954,94
CLVS 210-13-2 *	9.501,31	€778.596.565,05
TOTAL	72.286,52	€3.668.269.288,06

Cuadro 36. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	54.999,66	9.166,61	€231.640.241,27
PRESA PRINCIPAL	24.821,62	4.136,94	€60.812.978,75
CAMINOS Y CAMPAMENTOS	8.118,42	1.353,07	€22.163.289,77
TOTAL	87.939,71		€314.616.509,80

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 37. Volumen y costo de producción, planta IME MI.		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	2.861,60	€184.031.751,46
210-38-2	46.323,08	€3.156.364.371,70
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	0,00	€0,00
CLVS 210-13-2	4.674,71	€487.428.585,69
TOTAL	53.859,39	€3.827.824.708,85

Cuadro 38. Volumen y costo de acarreo, planta IME MI.			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
TÚNELES DE DESVÍO	28.291,60	4.715,27	€119.154.788,67
PRESA PRINCIPAL	9.914,61	1.652,43	€24.290.785,49
TOTAL	38.206,21		€143.445.574,15

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 39. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli del vertedor		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	132.701,03	€5.361.452.797,70
280-38-2	29.165,00	€1.239.583.932,71
CLVH 210	26.097,00	€1.112.660.670,23
CLVS 210-13-2	0,00	€0,00
TOTAL	187.963,03	€7.713.697.400,65

Cuadro 40. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli del vertedor			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
PRESA PRINCIPAL	53.100,03	8.850,01	€87.969.049,70
VERTEDOR DE EXCEDENCIAS	102.530,00	17.088,33	€124.881.540,00
TOMA DE AGUAS	32.333,00	5.388,83	€43.002.890,00
TOTAL	187.963,03		€255.853.479,70

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 41. Volumen y costo de producción, planta Arbau de casa de máquinas		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	172.706,70	€6.910.019.329,28
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	6.766,00	€285.828.378,25
CLVS 210-13-2	0,00	€0,00
TOTAL	179.472,70	€7.195.847.707,54

Cuadro 42. Volumen y costo de acarreo, planta Arbau de Casa de máquinas			
Destinos	Volumen(m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
MINICENTRAL	6.075,00	1.012,50	€19.136.250,00
CONDUCCIÓN	87.214,70	14.535,78	€181.441.461,88
Tanque de Oscilación	35.000,00	5.833,33	€56.350.000,00
CASA DE MÁQUINAS - SUBESTACIÓN - LÍNEA DE TRANSMISIÓN	51.183,00	8.530,50	€70.939.638,00
TOTAL	179.472,70		€327.867.349,88

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 43. Volumen y costo de producción, planta Pozzuolli 2 del vertedor		
Diseños	Volumen (m³)	Costo Producción
140-38-2	0,00	€0,00
210-38-2	25.636,89	€1.228.270.603,45
280-38-2	0,00	€0,00
CLVH 210	60.000,00	€3.008.601.461,07
CLVS 210-13-2	11.464,03	€968.457.190,71
TOTAL	97.100,92	€5.205.329.255,22

Cuadro 44. Volumen y costo de acarreo, planta Pozzuolli 2 del vertedor			
Destinos	Volumen (m³)	Cantidad de Ciclos	Costo Acarreo
DESCARGA DE FONDO	16.172,00	2.695,33	€35.093.240,00
PRESA PRINCIPAL	20.928,92	3.488,15	€31.742.196,87
EMBALSE	60.000,00	10.000,00	€147.000.000,00
MINICENTRAL	0,00	0,00	€0,00
TOTAL	97.100,92		€213.835.436,87

Se muestra el volumen total por despachar de la planta al sitio de colocado, la cantidad de ciclos requeridos y el costo que genera el transporte del concreto

Cuadro 45. Costos por planta de concreto, para el escenario 3			
	COSTOS DE PRODUCCIÓN	COSTOS DE ACARREO	COSTOS TOTALES
Planta Pozzuolli MI	₡3.668.269.288,06	₡314.616.509,80	₡3.982.885.797,86
IME MI	₡3.827.824.708,85	₡143.445.574,15	₡3.971.270.283,00
Arbau Casa Máquinas	₡7.195.847.707,54	₡327.867.349,88	₡7.523.715.057,42
Pozzuolli 2 Vertedor	₡5.205.329.255,22	₡213.835.436,87	₡5.419.164.692,10
Pozzuolli Vertedor	₡7.713.697.400,65	₡255.853.479,70	₡7.969.550.880,35
TOTAL			₡28.866.586.710,73

Comparación de escenarios

A continuación se presenta en los Cuadros 46, 47 y 48 una comparación de los costos que genera la consideración de los distintos escenarios. Se

presenta el costo total, pero, además, se detalla el correspondiente de ese costo para producción y para acarreo.

Cuadro 46. Comparación costos de producción de los 3 escenarios			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Planta Pozzuolli MI	₡3.668.269.288,06	₡3.668.269.288,06	₡3.668.269.288,06
IME MI	₡3.827.824.708,85	₡3.827.824.708,85	₡3.827.824.708,85
Arbau Casa Máquinas	₡3.895.422.918,71	₡7.003.833.359,75	₡7.195.847.707,54
Pozzuolli Casa Máquinas	₡4.616.490.901,49		
Pozzuolli Escombrera #3	₡11.083.320.233,70	₡4.884.281.142,73	
Pozzuolli 2 Vertedor			₡5.205.329.255,22
Pozzuolli Vertedor		₡8.060.586.448,66	₡7.713.697.400,65
TOTAL	₡27.091.328.050,81	₡27.444.794.948,04	₡27.610.968.360,32
escenario 1 es menos costoso			
	↓	↓	↓
	\$47.115.353,13	\$47.730.078,17	\$48.019.075,41

Cuadro 47. Comparación costos de acarreo de los 3 escenarios			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Planta Pozzuolli MI	₡314.616.509,80	₡314.616.509,80	₡314.616.509,80
IME MI	₡143.445.574,15	₡143.445.574,15	₡143.445.574,15
Arbau Casa Máquinas	₡124.272.386,00	₡308.731.099,88	₡327.867.349,88
Pozzuolli Casa Máquinas	₡184.458.713,88		
Pozzuolli Escombrera #3	₡1.369.579.669,50	₡414.887.259,50	
Pozzuolli 2 Vertedor			₡213.835.436,87
Pozzuolli Vertedor		₡189.393.190,00	₡255.853.479,70
TOTAL	₡2.136.372.853,34	₡1.371.073.633,34	₡1.255.618.350,41
escenario 3 es menos costoso			
	↓	↓	↓
	\$3.715.431,05	\$2.384.475,88	\$2.183.684,09

Cuadro 48. Comparación costos totales de los 3 escenarios			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Planta Pozzuolli MI	₡3.982.885.797,86	₡3.982.885.797,86	₡3.982.885.797,86
IME MI	₡3.971.270.283,00	₡3.971.270.283,00	₡3.971.270.283,00
Arbau Casa Máquinas	₡4.019.695.304,71	₡7.312.564.459,63	₡7.523.715.057,42
Pozzuolli Casa Máquinas	₡4.800.949.615,37		₡0,00
Pozzuolli Escombrera #3	₡12.452.899.903,20	₡5.299.168.402,23	₡0,00
Pozzuolli 2 Vertedor			₡5.419.164.692,10
Pozzuolli Vertedor		₡8.249.979.638,66	₡7.969.550.880,35
TOTAL	₡29.227.700.904,15	₡28.815.868.581,38	₡28.866.586.710,73
escenario 2 es menos costoso			
	↓	↓	↓
	\$50.830.784,18	\$50.114.554,05	\$50.202.759,50

Los resultados obtenidos se generaron tomando como base la instalación de un puente de banda, para el trasiego de agregados desde el quebrador Trío hacia las plantas en margen derecha. Dicho puente se encuentra en el proceso de montaje durante el período de la práctica profesional dirigida. Por lo que también se valora estimar la

diferencia de costos para cada uno de los escenarios que tiene el trasiego de agregados por carretera o mediante el uso del puente en mención. Dicha diferencia se muestra en los Cuadros 49 para el escenario 1, Cuadro 50 para el escenario 2 y Cuadro 51 para el escenario 3.

Cuadro 49. Comparación del acarreo de agregados entre quebrador en margen izquierda y plantas de concreto en margen derecha para el escenario 1.									
	DE:	A:	CANTIDAD DE CICLOS	DURACION DEL CICLO	COSTO	PUENTE	SUBTOTAL	TOTAL	TOTAL
Sin Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Casa Máquinas	9.637,78	2,3 hr	¢472.251.249,40	¢0,00	¢472.251.249,40	¢2.296.836.762,87	\$4.029.538,18
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	7.133,61	2,3 hr	¢349.546.767,50	¢0,00	¢349.546.767,50		
	Patio de Agregados	Pozzuolli Escombrera #3	25.541,80	2,8 hr	¢1.475.038.745,97	¢0,00	¢1.475.038.745,97		
Con Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Casa Máquinas	9.637,78	1,1 hr	¢219.259.508,65	¢148.879.301,40	¢368.138.810,05	¢1.482.162.055,64	\$2.600.284,31
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	7.133,61	1,1 hr	¢162.289.570,63	¢110.196.169,13	¢272.485.739,76		
	Patio de Agregados	Pozzuolli Escombrera #3	25.541,80	0,8 hr	¢446.981.438,17	¢394.556.067,66	¢841.537.505,83		

Cuadro 50. Comparación del acarreo de agregados entre quebrador en margen izquierda y plantas de concreto en margen derecha para el escenario 2.									
	DE:	A:	CANTIDAD DE CICLOS	DURACION DEL CICLO	COSTO	PUENTE	SUBTOTAL	TOTAL	TOTAL
Sin Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Vertedor	18.359,20	3,8 hr	¢1.477.915.707,33	¢0,00	¢1.477.915.707,33	¢2.714.508.593,21	\$4.762.295,78
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	16.771,39	2,3 hr	¢821.798.016,90	¢0,00	¢821.798.016,90		
	Patio de Agregados	Pozzuolli Escombrera #3	7.182,60	2,8 hr	¢414.794.868,97	¢0,00	¢414.794.868,97		
Con Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Vertedor	18.359,20	1,8 hr	¢674.700.649,00	¢283.603.163,65	¢958.303.812,65	¢1.835.576.681,30	\$3.220.309,97
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	16.771,39	1,1 hr	¢381.549.079,28	¢259.075.470,53	¢640.624.549,81		
	Patio de Agregados	Pozzuolli Escombrera #3	7.182,60	0,8 hr	¢125.695.414,84	¢110.952.904,01	¢236.648.318,85		

Cuadro 51. Comparación del acarreo de agregados entre quebrador en margen izquierda y plantas de concreto en margen derecha para el escenario 3.									
	DE:	A:	CANTIDAD DE CICLOS	DURACION DEL CICLO	COSTO	PUENTE	SUBTOTAL	TOTAL	TOTAL
Sin Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Vertedor	17.422,31	3,8 hr	¢1.402.495.601,34	¢0,00	¢1.402.495.601,34	¢2.853.892.208,90	\$5.006.828,44
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	17.366,74	2,3 hr	¢850.970.166,90	¢0,00	¢850.970.166,90		
	Patio de Agregados	Pozzuolli 2 Vertedor	7.524,14	3,8 hr	¢600.426.440,66	¢0,00	¢600.426.440,66		
Con Puente de Banda	Patio de Agregados	Pozzuolli Vertedor	17.422,31	1,8 hr	¢640.269.731,05	¢269.130.497,48	¢909.400.228,52	¢1.973.407.085,53	\$3.462.117,69
	Patio de Agregados	Arbau Casa Máquinas	17.366,74	1,1 hr	¢395.093.291,78	¢268.272.120,23	¢663.365.412,01		
	Patio de Agregados	Pozzuolli 2 Vertedor	7.524,14	1,8 hr	¢284.412.524,52	¢116.228.920,48	¢400.641.445,00		

Análisis de Resultados

De acuerdo con la información analizada para la realización de este estudio, se determinó un volumen aproximado de concreto por consumir por sitio de despacho. Por ejemplo, para el caso de las obras de conducción son necesarios 122215 m³ de concreto, en el vertedor de excedencias de la presa se necesitan 108765 m³, para la construcción de los túneles de desvío son requeridos 83291 m³. Existe además un requerimiento de 60000 m³ para la realización de las obras en el embalse, para Casa de máquinas se estimó que el volumen de concreto es de 51183 m³, la toma de agua genera un aporte de 32333 m³ en el consumo de concreto de P.H.R., obras como la descarga de fondo, caminos y campamentos y la minicentral requieren de 16172 m³, 8118 m³ y 6075 m³ de concreto respectivamente.

Para la producción de concreto producto de los altos volúmenes demandados, de la duración de las obras en los distintos frentes de trabajo y de la observación en campo realizada durante el período de práctica, se valoró la instalación de plantas de concreto de tipo mezcladoras, con capacidades mayores a los 60 m³/h de producción. Esto después de determinar que, de acuerdo con el seguimiento y experiencia en proyectos anteriores del ICE,

las plantas no generan más de un 60% de su rendimiento teórico. El sistema de almacenaje de agregados será el de tipo de planta horizontal y de estructuras modulares.

La elaboración del flujo de concreto que se presenta en el Apéndice 1 permite la planificación adecuada de los requerimientos de concreto que se tendrán en cada una de las diferentes obras que forman parte del P.H.R. Su planificación bisemanal permite a los centros productivos o plantas de concreto prever la demanda que deben de satisfacer y de esa manera coordinar con los centros de despacho

las diferentes chorreas de concreto. A partir del flujo de concreto se obtuvo la gráfica de la Figura 35. En esta se establece que en la bisemana 11 del año 2014 se tendrá el pico máximo de producción que será de 13306 m³ de concreto y además se identifica que de la bisemana 10 a la 20 de ese mismo año, se tendrán los máximos de producción superando en cada una de ellas los 10000 m³ de producción. Esta situación se presenta también para la bisemana 26 del año 2011.

El flujo de concreto realizado presenta además el diseño de mezcla requerido por cada una de las obras; de manera que, a partir de estos diseños, se estimaron las cantidades de las materias primas principales para la elaboración del concreto. De esta forma se realizó un flujo de materiales que se puede observar en el Apéndice 2 de este documento.

Este flujo permitió la obtención de las gráficas de las Figuras 36, 37, 38, 39 y 40; por medio de las cuales se pudieron determinar los máximos requerimientos de agregados y cemento que generan las producciones de concretos en las diferentes plantas. Este flujo es importante ya que permite determinar la producción bisemanal que se deberá generar en el quebrador Trío del P.H.R. Aquí se ubica el equipo productor de agregados con miras a que, cada una de las plantas, cuente con el abastecimiento adecuado de arena y piedra en el período bisemanal que así lo demande y de esa manera no altere la planeación de producciones y colocación de concreto.

Además se obtuvo la cantidad aproximada de cemento por consumir en el proyecto a lo largo de su ejecución, la cual ronda las 277 000 toneladas. Dicha cantidad corresponde a la producción que se realizaría en las distintas plantas de concreto. El conocimiento de esta demanda de cemento permite una

planificación adecuada en la solicitud de cemento con la empresa proveedora que, en este caso, es Cemex. De igual manera, con los agregados se busca tener la materia prima necesaria de acuerdo con la demanda y evitar contratiempos en la producción del concreto.

Por lo tanto, se obtuvo que para el agregado de 1 ½" será requerido un máximo de aproximadamente 4400 m³ para la bisemana 26 del 2011. En el caso del agregado de ½", la máxima demanda corresponde a un volumen de alrededor de 1700 m³ que tendrá lugar de la bisemana 21 del año 2012 a la bisemana 2 del año 2013. El agregado de ¾" genera su máxima demanda en la bisemana 26 del año 2011 con un volumen de cerca de los 6400 m³. Mientras que el requerimiento máximo de arena se estima que se produzca para la bisemana 11 del año 2014 alcanzando 7800 m³.

De acuerdo con los resultados producto de la observación del proceso de producción del concreto, durante el período de realización de la práctica profesional, se estimó necesario que cada una de las plantas de concreto cuente de manera permanente en cada uno de los dos turnos laborados, con el siguiente personal: un encargado de planta, un técnico eléctrico, un técnico mecánico, un soldador, dos ayudantes o peones, un inspector de control de calidad, un inspector de costos y un operador de equipo menor.

Los distintos escenarios contemplados obligaron a repartir los sitios por despachar de manera diferente, de acuerdo con la planta que se planea abastezca cada obra, de manera que los rendimientos de producción son distintos y para cada una de las plantas estos deben evaluarse contra el rendimiento esperado de las plantas de concreto para definir si se satisface la demanda. Así entonces se crearon los Cuadros 7 para el escenario 1, 20 para el escenario 2 y 33 para el escenario 3. En estos se puede evaluar un desempeño adecuado de las plantas de concreto, únicamente para el caso del escenario 3. Sin embargo se aprecia que el rendimiento de la planta cubre de manera ajustada el volumen por hora que se estima producir. Debido a esto se consideró importante para la elección del escenario, que se cuente con dos plantas cercanas a sitios de gran demanda de concreto, para que en caso de averías se tenga una planta cercana que pueda servir como respaldo en ese

momento. Esto hace pensar en la necesidad de contar con una planta adicional en el P.H.R. que pueda producir unos 40 m³ por hora y que pueda servir para respaldar una ubicación dada en cada escenario, que en el caso del escenario 1 sería como respaldo en la escombrera #3, para el escenario 2 como respaldo en el vertedor y para el escenario 3 como respaldo en casa de máquinas.

Los distintos sitios evaluados para la ubicación de las plantas de concreto generaron el establecimiento de tres distintos escenarios, a partir de los cuales se calcularon los costos productivos de acuerdo con el volumen y obra que cada planta debía proveer. Por consiguiente, para cada una de las plantas en los escenarios se generaron los Cuadros 9,11,13,15,17 para el escenario 1; los Cuadros 22,24,26,28,30 para el escenario 2 y los Cuadros 35,37,39,41,43 para el escenario 3. En estos se puede observar el costo del volumen total por diseño de mezcla producido en cada planta, así como el costo total de producción. Cabe destacar que el costo de cada diseño de mezcla se establece en hojas de cálculo como la mostrada en el Apéndice 5, donde se pone como ejemplo una planta en el escenario 1.

De igual manera en la sección de resultados y para cada una de las plantas, se crearon cuadros que presentan el costo del acarreo de los concretos desde la planta productora hacia los sitios de despacho.

Como resultado de la interpretación de costos de acarreo y producción independientes por planta para cada escenario, se generaron los Cuadros 46, 47 y 48 que permiten hacer una comparación de costos entre los tres escenarios. Esto con el objetivo de elegir el óptimo en términos de costo. Así, resultó ser el escenario 2 con alrededor de 51 millones de colones más económico que el escenario 3.

La toma de una decisión entre los escenarios busca el menor costo económico para el P.H.R. y el rendimiento adecuado de las plantas, pero también debe fundamentarse en la búsqueda de facilidades y rapidez de obtención del concreto demandado por parte de las obras, así como en la búsqueda de respaldar siempre el cumplimiento de los plazos de entrega. Debido a esto, también se pensó en aquellos casos donde, por una u otra razón, una planta detiene la producción (averías por ejemplo).

Estas diferentes consideraciones llevaron a escoger el escenario 3 como el óptimo respecto de la ubicación de las distintas plantas de concreto para el P.H.R.; aun, cuando, en costos totales, el escenario 2 resulta cerca de 51 millones de colones menos costoso. Las ubicaciones propuestas en el escenario 2 con una planta en la escombrera #3 implican distancias de acarreo y ciclos de tiempos muy altos, que podrían perjudicar la fluidez del concreto y que de usarse aditivos fluidificantes de mayor nivel, aumentaría los costos productivos.

Además se escogió el escenario 3 porque cuenta con dos plantas en zonas cercanas al vertedor, sitio donde se requieren los mayores volúmenes de productivos (vertedor, presa, toma de aguas, descarga de fondo). Además, en caso de falla, una planta puede servir como respaldo de la otra con mayor facilidad. Esto no se lograría si la planta se encontrara en la escombrera #3 como lo plantea el escenario 2.

El Cuadro 33 refleja que, para el escenario 3, en el caso de las obras que abastece la planta designada como casa de máquinas y que está ubicada cerca del tanque de oscilación, el rendimiento y la estimación de la producción están muy ajustados. Debido a lo anterior, se puede contemplar la posibilidad de adquirir una planta de producción pequeña de 40 m³/h, que pueda servir como respaldo si esta planta tuviera una avería, de manera que no detenga la planificación y el programa de trabajo de las obras de casa de máquinas, tanque de oscilación, conducción y subestación.

Una vez seleccionado el escenario 3 se pudieron establecer los costos de producción por planta de concreto para el P.H.R. Estos son los señalados en el Cuadro 46. Para la planta

Pozzuolli MI C3668269288, para la planta IME MI C3827824708, la planta Arbau casa de máquinas C7195847707, la planta Pozzuolli 2 Vertedor C5205329255 y finalmente la planta Pozzuolli Vertedor C7713697400.

Por otra parte, un objetivo más del presente estudio fue determinar cuál estrategia de acarreo de agregados es la más rentable. Las opciones consistían en acarrear agregados de margen izquierda a margen derecha. Estos salían a la carretera nacional por medio de vagonetas o mediante la instalación de un puente de banda que permitía transportar los agregados cruzando el río Reventazón. Se compararon las opciones y se generaron resultados para cada uno de los escenarios como se aprecia en los Cuadros 49, 50, 51. Finalmente, para el escenario 3 que se escogió se obtuvo un costo de acarreo, sin usar el puente de banda, de \$5006828,44 mientras que mediante el puente de banda el costo fue de \$3462117,69.

Conclusiones

- El flujo de concreto establece que de la bisemana 10 a la 20 del 2014 se obtendrán los máximos productivos de concreto del P.H.R. superando los 10000 m³ en cada una de estas bisemanas. La identificación de estas fechas permitirá planear con antelación la programación de las correas de manera que no todos los frentes demanden concreto en el mismo momento, en fechas en que el rendimiento de las plantas se ve exigido a su máximo.
- El máximo productivo de acuerdo con el flujo de concreto será de 13306 m³ en la bisemana 11 del año 2014. A partir de dicho valor y de la posterior distribución del concreto en las diferentes plantas de concreto se observará cómo en una bisemana de máxima producción se obtendrá un rendimiento adecuado para satisfacer dicho volumen, lo que hace pensar que en el transcurso del proyecto tampoco se tendrán dificultades.
- El fuerte de la demanda del concreto de las distintas obras del P.H.R. se tendrá en el año 2014. Esta determinación permite establecer un mantenimiento adecuado de las plantas de concreto para que, a esa fecha, cuando haya avanzado el proyecto, se generen los rendimientos estimados para las producciones y evitar así, que por daños de los equipos, estos decaigan y entonces no se pueda cubrir la demanda de concreto.
- La producción de los distintos agregados establecerá sus máximos bisemanales de la siguiente manera: agregado de 1 ½" 4400 m³ en la bisemana 26 del año 2011; agregado de ¾" 6400 m³ en la bisemana 26 del año 2011 de igual forma, agregado de ½" 1700 m³ entre las bisemanas 21 del 2012 y la bisemana 2 del 2013; mientras que la arena será 7800 m³ para la bisemana 11 del año 2014. El conocimiento previo de estos requerimientos permitirá que el quebrador produzca, con antelación, dichos volúmenes y no se vaya a detener la producción de concreto por faltante de materia prima.
- El volumen de concreto por colocar dentro del P.H.R. es de 590 683 m³, de los cuales las tres obras que mayor volumen demandan son: conducción 122215 m³, presa principal 108765 m³ y vertedor de excedencias 102530 m³. La determinación de las obras de mayor consumo es vital para la ubicación de las plantas de concreto, en función de que estos sitios de gran consumo puedan tener un adecuado abastecimiento.
- Por cada planta de producción de concreto se debe contar con el siguiente personal: un encargado de la planta, un operador de equipo menor, un soldador, un técnico eléctrico, un técnico mecánico, un inspector de costos, un inspector de control de calidad y dos peones. Con dicho personal se coordinará un adecuado funcionamiento y se contará con asistencia inmediata en caso de averías. Esto permitirá mantener continuidad en las correas de concreto.
- Se escogió el escenario 3 para la localización de las plantas, de forma tal que se deberán ubicar dos plantas en margen izquierda, la IME y una Pozzuolli

frente al camino 12; una planta en una zona próxima al tanque de oscilación que es la Arbau, y las otras dos plantas Pozzuolli, una en el canal de aproximación del vertedor y otra en un relleno en la aproximación de la presa. Esta ubicación permite que las obras de mayor consumo y que están en la ruta crítica de la programación del proyecto puedan ser despachadas con mayor ligereza.

- Para el escenario 3 que se escogió se obtuvo un costo de producción de \$48019075,41 y un costo de acarreo de \$2183684,09, que dan como resultado un costo total de \$50202759,50.
- El costo de producción tiene mayor peso que el costo de acarreo. Sin embargo, en la comparación de escenarios, la diferencia la hace el costo de acarreo pues es el que varía según las distancias entre sitios de colocación y sitios de producción de los concretos.
- La utilización de un puente de banda para el acarreo de agregados de un margen al otro resulta más económico a que si se efectúa el viaje por carretera nacional, además de que resulta más eficiente pues requiere un tiempo menor.
- Las 5 plantas establecidas en el escenario 3 para la producción de concreto, se ajustan en rendimiento a la demanda por m^3/h que se genera en el P.H.R. Esto permite establecer que los volúmenes demandados tendrán una oferta adecuada en el momento de solicitud.
- Es importante que se cuente con un patio de apilamiento de agregados próximo a cada una de las plantas de concreto. Esto por cuanto los volúmenes de concreto por despachar requieren grandes cantidades de agregado y las tolvas requieren una alimentación frecuente para no ver detenido el proceso productivo.
- En el sitio de ubicación de la planta de concreto se deberá contar con un laboratorio de control de calidad, que permita realizar las pruebas a los concretos y que garanticen el cumplimiento de los requerimientos para los cuales fue determinado cada diseño de mezcla.

Recomendaciones

- Buscar la adquisición de una planta mezcladora de concreto de uno 40 m³/h que sirva de respaldo en el sitio de casa de máquinas para el escenario establecido.
- Contar con mayor cantidad de repuestos dentro del P.H.R. para las diferentes plantas de concreto, en especial para las Pozzuoli que son de fabricación ICE y que presentaron algunos problemas de averías durante el período de realización de la práctica.
- Implementar con mayor rigurosidad el mantenimiento preventivo de cada una de las plantas de concreto para así prever posibles fallas y detectarlas antes de que generen un problema mayor.
- Mejorar la programación de la solicitud de concretos por parte de los distintos frentes de trabajo con miras a una mejor organización de los despachos por parte del centro de producción del concreto. Esta solicitud debería planearse con una semana de anticipación.
- En el campo de seguridad laboral implementar e insistir en el uso de mascarillas para el personal de campo pues se tiene mucha emisión de partículas de cemento al aire, o para el momento de limpieza de los mezcladores.
- Velar por la correcta saturación de los agregados en el sitio de apilamiento, para así cumplir con los diseños de mezcla y evitar que el Departamento de Control de Calidad detenga la producción, lo cual generaría atrasos con la programación.

Apéndices

Apéndice 1

Flujo de concreto bisemanal del P.H.R. En este flujo se indican los volúmenes requeridos por bisemana por las distintas obras. Se manejan 26 bisemanas por año. Fue elaborado en una hoja de cálculo del programa Excel, por cada obra se tienen sub-obras. En el caso de este anexo se muestran como ejemplo las sub-obras de la Toma de aguas por motivos de impresión. Pero el mayor detalle puede ser consultado en el Apéndice digital.

Apéndice 2

Muestra el flujo bisemanal de materiales (agregados de $\frac{1}{2}$ ", $1 \frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", arena y cemento) requeridos en el P.H.R. como consecuencia de los diseños de mezcla de concreto requeridos. El apéndice muestra un resumen bisemanal del flujo por materia. En el apéndice digital se puede observar el volumen de material requerido por obra.

Apéndice 3

Se adjuntan los Cuadros 54,55 y 56, en los cuales se detallan distancias medidas entre distintos puntos del P.H.R., y el Cuadro 57 que muestra tiempos de carga y descarga de concreto.

Apéndice 4

Muestra una imagen de la forma de distribuir el volumen de concreto para cada obra en la planta que le abastece concreto y que sirvió como base para la obtención de los resultados. Esta puede encontrarse en su totalidad en el Apéndice digital del proyecto.

Apéndice 5

Muestra la información contenida para cada cálculo del costo de producción de las plantas de concreto, mostrando como ejemplo el costo de producción de la planta Arbau que se ubicará en casa de máquinas en el escenario 1.

Apéndice 6

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 1, en donde el Cuadro 58 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 59, 60, 61, 62 y 63 muestran el despacho de concreto por bisemana, que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Apéndice 7

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 2, en donde el Cuadro 64 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 65, 66, 67, 68 y 69, muestran el despacho de concreto por bisemana, que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Apéndice 8

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 3, en donde el Cuadro 70 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 71, 72, 73, 74 y 75, muestran el despacho de concreto por bisemana, que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Apéndice 1

Flujo de concreto bisemanal del P.H.R. En este flujo se indican los volúmenes requeridos por bisemana por las distintas obras. Se manejan 26 bisemanas por año. Fue elaborado en una hoja de cálculo del programa Excel, por cada obra se tienen sub-obras. En el caso de este anexo se muestran, como ejemplo, las sub-obras de la Toma de aguas por motivos de impresión. Pero el mayor detalle puede ser consultado en el Apéndice digital.

Apéndice 2

Muestra el flujo bisemanal de materiales (agregados de $\frac{1}{2}$ " , $1 \frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " , arena y cemento) requeridos en el P.H.R. como consecuencia de los diseños de mezcla de concreto requeridos. El apéndice muestra un resumen bisemanal del flujo por materia; en el Apéndice digital se puede observar el volumen de material requerido por obra.

Apéndice 3

Contiene los Cuadros 54,55 y 56 en los cuales se detallan distancias medidas entre distintos puntos del P.H.R., y el Cuadro 57 que muestra tiempos de carga y descarga de concreto.

Apéndice 4

Muestra una imagen de la forma de distribuir el volumen de cada obra a la planta que le abastece concreto y que sirvió como base para la obtención de los resultados y que además puede encontrarse en su totalidad en el Apéndice digital del proyecto.

Apéndice 5

Muestra la información contenida para cada cálculo del costo de producción de las plantas de concreto. Se muestra como ejemplo el costo de producción de la planta Arbau que se ubicará en casa de máquinas en el escenario 1.

Apéndice 6

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 1. El Cuadro 58 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 59, 60, 61, 62 y 63 muestran el despacho de concreto por bisemana que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Apéndice 7

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 2. El cuadro 64 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 65, 66, 67, 68 y 69 muestran el despacho de concreto por bisemana que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Apéndice 8

Contiene 6 cuadros con flujos de concreto para el escenario 3. El cuadro 70 es un flujo en el que se muestra el requerimiento bisemanal que tendrá que producir cada una de las plantas y los Cuadros 71, 72, 73, 74 y 75 muestran el despacho de concreto por bisemana que cada planta realiza al correspondiente sitio de colocación.

Anexos

Los anexos del proyecto se enlistan a continuación:

Anexo 1

Muestra un cuadro generado por el área de extracción de agregados en el que se detallan distintos ciclos entre locaciones dentro del P.H.R.

Anexo 2

Muestra la boleta de solicitud de concreto por medio de la cual cada frente de trabajo debe solicitar la cantidad de concreto requerida al correspondiente sitio de despacho.

Anexo 3

Muestra la boleta de solicitud de agregados. Esta debe ser llenada por la planta de concreto para poder solicitar la entrega de determinada cantidad de agregado.

Anexo 1

Muestra un cuadro generado por el Área de extracción de agregados en el que se detallan distintos ciclos entre locaciones dentro del P.H.R.

Anexo 2

Muestra la boleta de solicitud de concreto por medio de la cual cada frente de trabajo debe solicitar la cantidad de concreto requerida al correspondiente sitio de despacho.

Anexo 3

Muestra la boleta de solicitud de agregados. Esta debe ser llenada por la planta de concreto para poder solicitar la entrega de determinada cantidad de agregado.

Referencias Bibliográficas

Alquezar, 2011. **PLANTAS DE HORMIGÓN.** En línea: <http://www.tallerosalquezar.es>

Comité ACI 318, 2005. **REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-05) Y COMENTARIO (ACI 318SR-05).**

Dondi, A. 2009. **APUNTES DEL CURSO CARRETERAS 2.** Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Euromateriales, 2011. **PLANTAS DE CONCRETO.** En línea: <http://www.euromaterialescr.com>

ICE. 2009. **INFORME DE FACTIBILIDAD P.H. REVENTAZÓN.** Volumen 1 – Texto.

ICE, MET. **MANUAL PLANTA POZZUOLLI.** Texto y planos.

ICE, 2011. **PROGRAMA DE TRABAJO P.H. REVENTAZON.**

ICE, 2011. **LEVANTAMIENTO DE CAMINOS.** Departamento de Topografía.

I&M INGENIERÍA LTDA, 2011. **PLANTAS DE COCRETO.** En línea: <http://www.imingeneria.com/productos.html>

Leandro, A. 2009. **APUNTES DEL CURSO DISEÑO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS.** Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Urdaneta, G. 2008 **OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO EN PLANTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MONOLITO 18.**

