

# Análisis de costos para la producción de agregados



# Abstract

The aggregate production is an activity that involves many internal and external factors. In the road construction this activity is of extreme importance since from her the materials are derived that compose the structure of pavements. The control and analysis of costs become determining to obtain that the activity is profitable. The inspection in previous site and throughout the process is indispensable to manage to take a daily and representative control of the daily results to analyze the data with time and to make decisions being based on real and opportune facts. Thanks to these procedures we obtained results in certain way favorable having smaller costs to the budgeted ones. Nevertheless we found several internal and external factors that made the activity less profitable. It was fulfilled the expectation to maintain the cost below the budgeted but it was not fulfilled the awaited utility. The costs are affected not only by the machine hours, but also by external factors such as: climate, site of extraction and type of material. The cost is directly related to the productions. The cost is proportional to the production, with greater production, minor the cost and with smaller production greater is the cost.

Keywords: Impactor plants, aggregate production, costs.

# Resumen

La producción de agregados es una actividad que involucra muchos factores internos y externos. En la construcción de carreteras esta actividad es de suma importancia ya que de ella se derivan los materiales que componen la estructura de pavimentos. El control y análisis de costos se vuelve determinante para lograr que la actividad sea rentable. La inspección en sitio previo y durante todo el proceso es indispensable para lograr llevar un control diario y representativo de los resultados diarios para analizar los datos con tiempo y tomar decisiones basándose en hechos reales y oportunos. Gracias a estos procedimientos se obtuvieron resultados en cierta manera favorables teniendo costos menores a los presupuestados. Sin embargo, se encontraron varios factores internos y externos que hicieron la actividad menos rentable. Se cumplió con la expectativa de mantener el costo por debajo de lo presupuestado pero no se cumplió con la utilidad esperada. Los costos son afectados no sólo por las horas máquina, sino también por factores externos tales como: clima, sitio de extracción y tipo de material. El costo está directamente relacionado con las producciones. El costo es proporcional a la producción, cuanto mayor producción, menor el costo y cuanto menor producción mayor es el costo.

Palabras claves: Base, sub base, quebrador, costos.

# **Análisis de costos para la producción de agregados**

# **Análisis de costos para la producción de agregados**

FELIPE GUZMÁN GUTIÉRREZ

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

Diciembre del 2007

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo .....	3
Introducción .....	4
Metodología .....	6
Resultados .....	7
Análisis de los resultados .....	24
Conclusiones .....	30
Apéndices .....	31
Anexos .....	32
Referencias .....	33

# Prefacio

Uno de los puntos claves en la construcción de carreteras es la explotación y producción de los agregados para la estructura de pavimento de un proyecto. La ubicación de la fuente de agregados y su calidad son determinantes en el cálculo de la utilidad de una obra de infraestructura vial para una empresa. La carretera Cartago Paraíso presenta el inconveniente de que en la zona próxima no se tienen fuentes de materiales adecuadas en lo que respecta a calidad y cantidad, la zona urbana se ha extendido sobre posibles sitios de interés para la explotación, para el caso que nos involucra a la fuente de extracción más cercana y que cumple con la calidad especificada, se encuentra a 10 km del centroide de la obra.

La zona de influencia de la obra no cuenta con suficientes fuentes de materiales ubicadas en posiciones cercanas a las obras y que sean explotables. Fue necesario un estudio de varios sitios, en un radio no mayor de 15 km al centroide de la obra con el fin de exceder los costos establecidos en la planificación del proyecto. No todos los proyectos se encuentran cerca de fuentes de material o sitios de explotación, por ello es de vital importancia el estudio previo de las condiciones que presentan los sitios de construcción para así poder planificar el proyecto con el fin de realizar las obras de manera eficiente, a tiempo y con los estándares de calidad.

La producción de los diferentes tipos de agregados contempla la extracción, acarreo y trituración por ejecutarse en el sitio denominado Base 1. Para la ejecución de tales actividades la empresa constructora explotó un banco de materiales de formación caliza denominado Base 1 y ubicado en los alrededores de Agua Caliente, se instalará un quebrador con fuente de energía por combustión y soportado por cargadores, un CAT 988 y un CAT 966 G para el manejo del abastecimiento y acopio de los materiales. Para la explotación se contará con una excavadora de 30 toneladas y un tractor CAT D 8 T.

El análisis de costos de cualquier proyecto permite analizar el rendimiento antes, durante y después del desarrollo de éste permitiendo tomar decisiones a tiempo que beneficien y mejoren su rendimiento.

Con el análisis de costos se pretende buscar la manera de aumentar la producción de agregados al menor costo posible. El análisis depende de muchos factores. El modelo de trabajo, es decir la maquinaria, equipo, personal entre otros, es uno de ellos. Se pueden tener todos los recursos necesarios para desarrollar la actividad, pero es indispensable saberlos organizar, de lo contrario se tendrían recursos que lo único que estarían haciendo es aumentando los costos del proyecto.

El tema de calidad nunca se debe de dejar de lado. La calidad es el sello con que se vende el producto y es uno de los aspectos que posiciona a las empresas en el mercado. Los estándares de calidad se deben de seguir estrictamente y deben de ser controlados constantemente. En la producción de agregados es de vital importancia el constante control de la materia prima y del material procesado ya que las formaciones geológicas son cambiantes según sus estratos. Al igual que con el material procesado ya que la manipulación tiende a degradar la calidad de éste.

Son mucho los factores que se involucran en la producción de agregados y que siempre se deben tomar en cuenta para lograr los objetivos básicos: producción, costo y calidad.

Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, por darme la vida que hasta ahora se me ha dado y que me ha permitido vivirla con felicidad. Agradezco a mis padres por todo lo que me han dado hasta el momento, por apoyarme en todas las actividades de mi vida y por ser parte de ella. Agradezco a Constructora Meco el haberme dado la oportunidad de formar parte de la "Gente Meco". Agradezco al señor Marco Salamanca, Gerente

de proyectos Privados de Constructora Meco y Al Señor Abel González, Sub-Gerente General de Constructora Meco por confiar en mi persona y permitirme estar a cargo de la producción de la sub base y base para la construcción de la nueva carretera que comunica la ciudad de Cartago con Paraíso. A todo el personal que trabajó junto a mi persona, dado que de ellos aprendí muchas de las cosas que en este trabajo se detallan.

# Resumen ejecutivo

Este proyecto lo dedico a mis padres puesto que ellos fueron los que me apoyaron desde un inicio. Gracias al apoyo incondicional de ellos en todo el proceso de mis estudios, termino una etapa importante en mi vida.

En el plan de estudios de la escuela de Ingeniería en Construcción no se toma importancia a actividades como la producción de agregados y su valor dentro de muchas áreas de la construcción misma. La logística de la producción de agregados es muy variada porque involucra muchos detalles que se deben de tomar en cuenta para que el proceso logre desarrollarse de manea eficiente. Para Constructora Meco es de suma importancia llevar un control y análisis de costos diario para poder tomar decisiones oportunas y seguras sobre los procedimientos y estrategias por seguir con el fin de producir más y disminuir costos. También formar una base de datos de donde se pueda sacar información para futuros proyectos que tengan condiciones de trabajo similares a las estudiadas en este proyecto. Es de vital importancia ver los resultados de este proyecto como una retroalimentación para mejorar procesos futuros.

El análisis de costos de un proyecto como éste deja ver muchos detalles que afectan las utilidades de un proyecto. Por medio de la recopilación de datos diarios se logra determinar con precisión qué factores afectan positiva y negativamente el rendimiento del proyecto, que afectan directamente las utilidades de éste. Se debe tomar en cuenta que no sólo se requiere de un quebrador para producir agregados sino también de equipo auxiliar que le permita al quebrador quebrar el material. Se requiere equipo pesado para extraer material, equipo para alimentar el quebrador y se requiere también de personal capacitado para lograr organizar y supervisar el proceso.

Para la actividad se utilizó equipo pesado como: cargadores CAT 988 y CAT 966, un Tractor CAT D8T, una excavadora CAT 330, para el acarreo se utilizaron vagonetas

articuladas CAT 725, 730 y 735, y un impactor móvil. Éstos fueron los equipos encargados de realizar las labores de extracción, alimentación y trituración.

Se obtuvieron resultados en cierta manera favorables, con costos menores a los presupuestados. Para el mes agosto se tuvo una producción promedio de 562 m<sup>3</sup>, sumamente baja en comparación a los 800 m<sup>3</sup> establecidos como producción mínima. Se obtuvo un costo promedio de \$6,86/m<sup>3</sup>. La diferencia promedio entre lo presupuestado y lo real fue de \$3,14/m<sup>3</sup>. Aunque el costo promedio fue menor al presupuestado las utilidades no fueron tantas como las esperadas. Se esperaba que la diferencia entre costo presupuestado y costo real fuera de \$6/m<sup>3</sup> mínimo. El mes de septiembre tuvo una producción promedio de 584 m<sup>3</sup>, sumamente baja en comparación a los 800 m<sup>3</sup> establecidos como producción mínima. Se tuvo un costo promedio de \$8,04/m<sup>3</sup>. La diferencia promedio entre lo presupuestado y lo real fue de \$1,96/m<sup>3</sup>. Este dato indica que la utilidad de este mes disminuyó considerablemente tomando en cuenta que la diferencia en costos debía de ser de \$6,00/m<sup>3</sup>. Se tuvo una producción promedio similar a la de agosto pero el costo por m<sup>3</sup> aumentó. En el mes de septiembre los costos se elevaron considerablemente en comparación con los costos de agosto. Estos resultados fueron consecuencia de factores internos y externos que hicieron la actividad menos rentable. Se cumplió con la expectativa de mantener el costo por debajo de lo presupuestado pero no se cumplió con la utilidad esperada. Los costos fueron afectados no sólo por las horas máquina, sino también por factores externos tales como: clima, sitio de extracción y tipo de material. El costo estuvo directamente relacionado con las producciones, y fue proporcional a la producción, cuanta mayor producción, menor el costo y cuanta menor producción mayor es el costo.

# Introducción

Como todo proyecto, a su inicio se debe definir cuál es el motivo general de éste. La producción de agregados es el motivo de todas las acciones que se llevaron a cabo en este proyecto. Para la producción de agregados se deben tomar en cuenta varios factores importantes que permiten realizar las actividades con mayor eficiencia, seguridad, calidad y a un menor costo. Por eso este proyecto se ha enfocado al análisis de los costos y a la manera de lograr que todas las actividades y equipos trabajen de modo eficiente para alcanzar los objetivos planteados.

El proyecto se desarrolló en la Mina La Chilena en Agua Caliente de Cartago, propiedad de Holcim Costa Rica. La producción de agregados se realizó con equipo y personal de Constructora Meco.

La mina es una mina a cielo abierto donde predominan los yacimientos de material calizo y material con alto porcentaje de sílice. El material calizo visiblemente se observa como una piedra de color entre blanco y morado, lo contrario del material de sílice que se puede observar de color gris. En la mina también se presentan varias formaciones de arenisca (arcilla consolidada) que contienen altos niveles de plasticidad debido a su origen arcilloso. Para efectos de la calidad de los agregados, las rocas que cumplen con las especificaciones son la caliza y la roca con grandes porcentajes de sílice ya que son rocas con bajos porcentajes de plasticidad. La roca caliza presenta una menor densidad y a su vez su dureza es menor. Lo contrario sucede con el material silicoso, ya que éste presenta mayor peso y es más duro, volviéndose un material muy abrasivo para el equipo de trituración. Ambos materiales cumplen con las especificaciones requeridas.

En un inicio se determinaron los insumos claves de la actividad principal, llámese producción de agregados. Se nombraron 2 áreas principales, trituración y alimentación. Dentro del área de trituración se encuentran los siguientes equipos: Impactor, generador, conveyer y criba, y

en el área de alimentación están los equipos de alimentación y extracción de material. El proceso de alimentación se dividió en 2 actividades, la de alimentación propiamente y la de extracción. En la actividad de alimentación se utilizaron cargadores CAT 988 y CAT 966 y fue éste último el de mayor estudio y de mayor eficiencia. En el proceso de extracción se utilizó un Tractor CAT D8T, una excavadora CAT 330 y para su acarreo se utilizaron vagonetas articuladas CAT 725, 730 y 735 y fueron estas últimas las más eficientes. Debido al sitio en que se instaló el impactor la mayoría del material producto de la extracción se tuvo que acarrear un promedio de 1 km desde el punto de carga hasta el punto del stock. La mina presenta formaciones muy heterogéneas y distribuidas en todo el frente de explotación. Como parte del convenio de extracción entre Holcim Costa Rica y Constructora Meco, el material al que se pudo acceder a extraer era todo aquel material que no fuera de composición caliza por lo que las zonas de extracción cambiaban constantemente, por lo que aumentaban o disminuían las distancias de acarreo y la manera de extraerlo, lo cual causaba que los costos fluctuaran según las variables antes mencionadas.

Muchos factores afectaron la producción de agregados, entre ellos se pueden mencionar: la calidad de la piedra, la humedad, los finos productos de la extracción (agregaban plasticidad al material), el clima y las averías en el equipo de generación y trituración.

En relación con los costos del proyecto, se tomaron los meses de julio, agosto y septiembre para el análisis respectivo. Se consideró que los datos recopilados en 3 meses son bastante representativos. En esos tres meses se trabajó de maneras muy distintas, desde el punto de vista de equipo y de material.

Se tomó información diaria de aspectos como horas máquina, producciones, tipo de material, calidad, averías y rendimientos. Con base en estos datos diarios se pudieron analizar

los costos de la obra y así determinar de qué manera se pudieron obtener mayores producciones a menor costo.

# Metodología

El proyecto se realizó en la Mina La Chilena en Agua Caliente de Cartago. Dicha mina es propiedad de Holcim Costa Rica pero el proyecto específico de extracción y trituración de material para la carretera Cartago-Paraíso estuvo a cargo de Constructora Meco. El proyecto tuvo su inicio en mayo del 2007 y se mantiene en desarrollo actualmente. Se tomaron 2 meses en específico para el análisis de los datos, estos meses son agosto y septiembre. Se tomaron estos meses porque en los meses de mayo, junio y julio se tuvo gran cantidad de averías por lo que la producción se vio negativamente afectada. El mes de octubre y noviembre fueron meses de la temporada lluviosa por lo que también las producciones se vieron negativamente afectadas.

En un inicio se concentró en el método de observación. Se observó el modo de trabajo de todo el equipo, de las personas y cómo afectan otros factores externos la actividad. Se tomaron datos de: tipo de maquinaria requerida, tipo de trabajo y uso de cada máquina y de su costo por hora. Se dividió la actividad en sub actividades. Se tomaron modelos vistos en campo para determinar los elementos básicos que componen la extracción de material para producir agregados. A estos modelos observados en campo se les tomaron los datos respectivos para el análisis de eficiencia y costo, esto con el fin de determinar el modelo óptimo para el proyecto en estudio. Con dichos análisis se procedió a determinar qué modelo de trabajo es el básico para el proceso y también cuál es el modelo óptimo para el sitio específico. De la mano con este proceso se determinaron los métodos para asegurarse que el material procesado cumpla con las especificaciones (CR-77). Una vez analizadas todas las variables se procedió a realizar el modelo de trabajo para la explotación.

Con la recopilación diaria de datos éstos se introdujeron a una hoja de Excel para determinar la relación costo por metro cúbico diario, semanal y mensual. En dicha hoja se introdujeron las horas máquina de todo el equipo que laboró en la extracción y trituración de la base y sub base y se comparó entre la producción del día para sacar el costo por metro cúbico. El objetivo de este procedimiento es obtener, analizar y optimizar los costos, de tal manera que indiquen el estado de costos semanal y mensualmente. Con base en los datos obtenidos se procedió a realizar el modelo de trabajo más eficiente. El objetivo de este proceso es crear escenarios o modelos de trabajo bajo diferentes condiciones de trabajo para obtener un modelo de trabajo final que logre aumentar producción y reducir costos, manteniendo la calidad.

Del lado de la producción se realizó un estudio de los porcentajes de material pasando después de ser triturados y después de pasar por la criba vibratoria. Esto para determinar el porcentaje de producción efectiva de base y sub base según el cambio de mallas en la criba.

Durante todo el proceso se contó con la asesoría del Ingeniero Marco Vinicio Salamanca Flores, Gerente de Proyectos de Constructora MECO S.A.

La descripción de los materiales y los métodos empleados debe ser lo suficientemente completa, como para permitir a un profesional o investigador competente reproducir el trabajo. La organización en esta sección es simple y cronológica. Debe indicarse el objetivo de cada paso realizado.

# Resultados

La distribución en campo del equipo se puede observar en la figura 1.



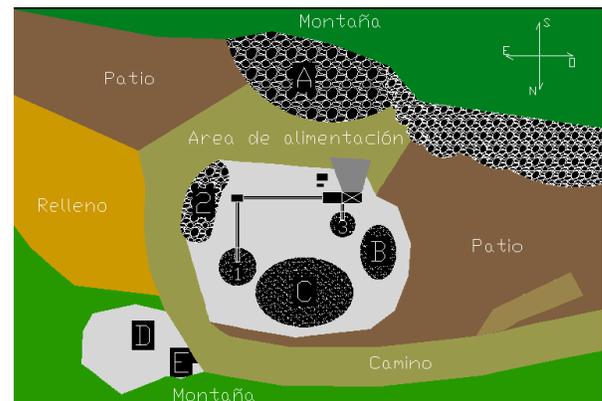
**Figura 1.** Distribución previa de equipo en la zona de trabajo.

En la figura 1 se puede observar la distribución preliminar del equipo y del área de trabajo que lo rodea. Esta distribución fue durante el tiempo de pruebas previas al inicio de labores formalmente.



**Figura 2.** Distribución final de equipo en la zona de trabajo

Esta distribución es la distribución final en la cual se trabajó todo el proyecto. En la imagen se puede observar la ubicación del impactor, generador, conveyers, criba y stocks.



**Figura 3.** Diagrama en planta de la distribución en sitio.

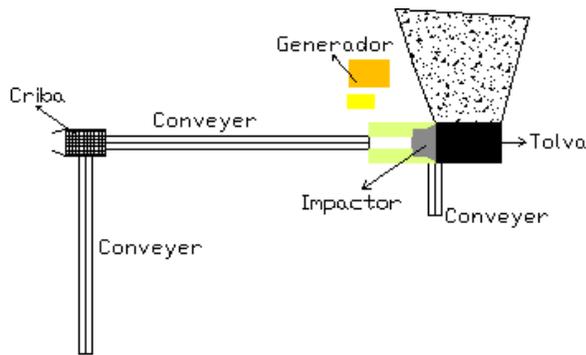
En la figura 3 se puede observar la distribución en planta del equipo y las zonas de interés en el sitio de trabajo. Se puede observar la designación en letras y numérica de los sitios y de los equipos dentro del área de trabajo. Las áreas marcadas con letras son los sitios en donde se colocaban los stocks de material triturado y bruto. Los productos de las salidas del impactor están identificados con números. La letra "A" corresponde al stock de material bruto (este es el material a triturar). La letra "B" corresponde al stock de material de rechazo sucio (producto del grill del impactor), este material es el que sale producto del cribado del material al final de la tolva del impactor el cual separa el material fino (tierra o barro) y la piedra menor a 3 pulgadas. Este cribado se realiza para eliminar el material que produce la plasticidad en el material final. Las letras "C, D y E" son las zonas de stock principales donde se colocaba el material de base o sub base listo para ser trasladado. Este material viene del chorro principal numerado como "1". El sitio numerado

con el "1" es el lugar donde el producto final, base o sub base, sale. De ahí este material se traslada por medio del cargador a los sitios "C, D o E". En la figura 4 se puede observar esta acción.



**Figura 4.** Chorro principal y stock de material.

Con respecto al equipo, se identificaron 6 equipos claves: criba, conveyers, impactor, tolva, generador y cargador.



**Figura 5.** Distribución y colocación del equipo clave.

En la figura 5 se puede observar la distribución de equipo en planta. La secuencia del mismo es la siguiente: El cargador alimenta la tolva, de la tolva el material se vibra para que pase por el grill y este separe los finos. Después del grill el material pasa al impactor y cámara de impacto. Una vez triturado el material este sale por la banda principal del impactor el cual pasa al conveyer 1. El conveyer 1 transporta el material a la criba donde se separa el material según el tamaño de la malla. En la criba salen dos materiales, el rechazo limpio( es material de un tamaño mayor al tamaño de la malla) y el otro

material pasa a otro conveyer que transporta el material final (base o sub-base) al chorro principal.



**Figura 6.** Cargador alimentando tolva del impactor.

En la figura 6 se puede apreciar que el cargador, por medio de una rampa, alimenta la tolva del impactor.

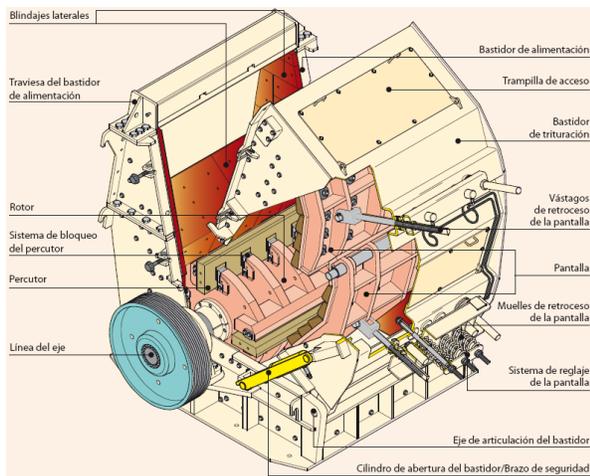


**Figura 7.** Impactor en proceso de trituración de la piedra.

En la figura 7 se muestra el proceso de trituración principal donde el impactor ( indicado por la flecha) es alimentado por la tolva y éste realiza el proceso de impactar la piedra dentro de la cámara de impacto reduciendo su granulometría. Una vez triturado el material éste sale por la parte situada debajo de la cámara de impacto.



**Figura 8.** Impactor.



**Figura 9.** Diagrama del Impactor.

En las figuras 8 y 9 se muestran con mayor detalle el impactor. Se puede observar las diferentes piezas que hacen posible la trituración. En el caso nuestro el impactor estaba montado sobre una armazón móvil en forma de trailer en el cual estaban instalados la tolva y el impactor.



**Figura 10.** Salida del impactor al conveyer 1.

En la figura 10 se muestra la salida del material del impactor a la banda transportadora que traslada el material a la criba. Este conveyer tiene aproximadamente una longitud de 20 metros y una altura de 7 metros.



**Figura 11.** Criba.

En la figura 11 se observa el proceso de cribado. Este proceso se realiza gracias a una criba vibratoria la cual separa el material por medio de mallas de tamaño determinado. El material cae sobre la criba, ésta con cierta inclinación para que el material no se atasque y se acumule en ella. Por medio del vibrado el material pasa por las mallas separando el material. En un extremo sale material de tamaño mayor al tamaño de la cuadrícula de la malla, y de otro sale un material menor al tamaño de la cuadrícula de las mallas. Según las especificaciones de tamaño del material se

pueden colocar mallas de diferentes tamaños. Esto se puede realizar para cumplir con la granulometría y a su vez para controlar la producción de materia final. El material que sale por el extremo superior es acumulado en un stock para su posterior trituración. Este es un material de rechazo limpio que se repasa para producir material de mayor calidad debido a la escasez de finos. En este proyecto se utilizó para procesar el material de base. Según el tipo de malla que se

ponga en la criba, ésta aumenta o disminuye el material que pasa por las mallas. En el proyecto se utilizaron mayas de 1,5 pulgadas para procesar la base y de 2 pulgadas para procesar la sub-base. Según el tipo de malla que se colocara en la criba esta aumentaba o disminuía la producción del material principal. En los cuadros 1 y 2 se pueden observar los porcentajes de material pasando la criba.

<b>CUADRO 1. PORCENTAJES DE MATERIAL PASANDO LA CRIBA (MALLA DE 2'')</b>					
Muestra	Producción Efectiva (m <sup>3</sup> )	Producción (m <sup>3</sup> ) Malla de 2''		Rechazo Limpio (m <sup>3</sup> )	
1	560	71,4%	400	28,6%	160
2	620	67,7%	420	32,3%	200
3	500	80,0%	400	20,0%	100
4	325	86,2%	280	13,8%	45
5	260	69,2%	180	30,8%	80
6	148	81,1%	120	18,9%	28
7	160	75,0%	120	25,0%	40
8	220	81,8%	180	18,2%	40
		<b>76,6%</b>		<b>23,4%</b>	

Tanto para el cuadro 1 como para el cuadro 2 se tomaron muestras aleatorias de casa

proceso para obtener un dato significativo de las producciones pasando y retenidas en la criba.

<b>CUADRO 2. PORCENTAJES DE MATERIAL PASANDO LA CRIBA (MALLA DE 1,5'')</b>					
Muestra	Producción Efectiva (m <sup>3</sup> )	Producción (m <sup>3</sup> ) Malla de 1,5''		Rechazo Limpio (m <sup>3</sup> )	
1	860	69,8%	600	30,2%	260
2	720	69,4%	500	30,6%	220
3	412	68,0%	280	32,0%	132
4	472	59,3%	280	40,7%	192
5	120	66,7%	80	33,3%	40
6	712	71,9%	512	28,1%	200
7	280	64,3%	180	35,7%	100
8	560	71,4%	400	28,6%	160
		<b>67,6%</b>		<b>32,4%</b>	

En el cuadro 1 se puede observar que el 76,6% de la producción efectiva paso por las

mallas de 2 pulgadas y que el 23,4% de la producción se retuvo.

Quiere decir que el 76,6% del material fue de base o sub-base y que el 23,4% fue material de rechazo limpio. En el cuadro 2 se aprecia que el 67,6% de la producción efectiva pasó por las mallas de 1,5 pulgadas y que el 32,4% de la producción se retuvo. Quiere decir que el 67,6% del material fue de base o sub-base y que el 32,4% fue material de rechazo limpio.

Comparando las producciones de los dos cuadros según el tipo de malla utilizada se puede observar que las diferencias de ambos dieron 9%, es decir con la malla de 2 pulgadas se tiene un 9% más de producción en el chorro principal que con la malla de 1,5 pulgadas, pero a su vez se tiene un 9% menos de producción en el rechazo limpio con las mallas de 2 pulgadas que con las de 1,5 pulgadas.



**Figura 12.** Salida del material final de la criba al conveyer 2.

En la figura 12 se muestra la salida del material pasando la malla. El material pasa por la malla y cae en un cono que ubica el material sobre el conveyer 2. El conveyer 2 es el que transporta el material de base o sub base hacia el chorro principal. El material pasando la malla es el material útil. En la figura 13 se puede observar la salida del material principal siendo éste transportado por medio de cargador hacia las zonas de stock.



**Figura 13.** Chorro de material principal (base o sub-base).

En la zona de trabajo no existió ningún tipo de instalación eléctrica que alimentara y proviera de energía eléctrica al impactor, criba y conveyers. Debido a esto se optó por dotar de energía por medio de un generador diesel Caterpillar de 500 HP (equivalente a un motor de un tractor D10). El voltaje necesario para alimentar todo el equipo era de 410 W. El generador era alimentado por medio de una tanqueta que suministraba el diesel. El consumo del generador era aproximadamente de 55 litros por hora. La tanqueta tenía una capacidad de 1100 litros.

Existen muchos factores que se tienen que tomar en cuenta para organizar adecuadamente el equipo de trabajo, algunos de ellos son: viento, drenaje de aguas llovidas, accesos, áreas mínimas y máximas, alturas de conveyers, piso, distancia al punto de extracción y disponibilidad de energía y agua potable. Con respecto al viento, en el caso en estudio el viento iba de este a oeste por lo que el operador del impactor recibía todo el polvo de la trituración en la caseta de operación, siendo esto nocivo para la salud del operador así también como daño para los controles eléctricos. Esto se puede observar en la figura 14.



**Figura 14.** Caseta recibiendo polvo producto de la trituración.

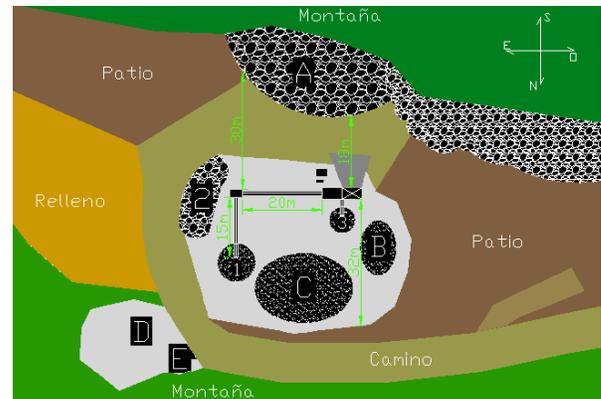
En un principio la caseta donde se ubicaba el generador y la tanqueta con diesel estaban al costado del impactor que recibía directamente el polvo generado por la trituración. Para prevenir daños en el equipo de generación se optó por trasladar el generador y tanqueta al lado contrario al que se ubicaba ya que de ese lado el viento impedía que el polvo le llegara directamente. En relación con el agua llovida, el sitio de trabajo presentaba un inconveniente. Este inconveniente era el drenaje natural de una alcantarilla que recogía las aguas de la mina principal y las drenaba por el sitio donde se instaló el impactor. Como solución a esta agua se decidió desviarlas por un lado del sitio de trabajo por medio de la excavación de un pequeño canal que encausaba las aguas alrededor del sitio y desaguaba por su trayecto original.



**Figura 15.** Drenaje de aguas llovidas.

En la figura 15 se puede observar el desvío de las aguas llovidas rodeando el área de trabajo. También se puede observar el piso que se hizo debido a la acumulación de material. Esta acumulación de material se debe al material que se acumula en el piso del stock. Este piso sirvió para disminuir la contaminación que produce el rodaje del cargador a la hora de pasar el material del chorro principal al stock y del stock a las vagonetas. A su vez este piso ayudó a encausar mejor las aguas pluviales.

El acceso al sitio de trabajo era un camino único que comunicaba ese frente de trabajo con la mina principal. El camino era un camino de lastre de aproximadamente 15 m de ancho el cual permitía un ancho suficiente para que tanto el equipo de Holcim como el Meco pudieran transitar sin ningún inconveniente. En la figura 17 se puede observar dicho camino. La distribución en sitio del equipo fue tal que las distancias y las áreas de influencia de éstas fueron las adecuadas.



**Figura 17.** Longitud de equipos y distancia en sitio.

En la figura 17 se pueden observar las longitudes y dimensiones de algunos equipos, así también como las distancias de los equipos a los límites naturales de la zona. Con base en estas distancias se determinó que estas áreas eran las distancias mínimas para crear un área de trabajo que permitiera realizar las labores sin ninguna limitación de espacio para el equipo de trituración, de acarreo y específicamente para el cargador.

La extracción de material para su trituración se dio en diferentes puntos de la mina. Las zonas de extracción fueron definidas por los ingenieros de la Mina (de Holcim) ya que permitía explotar áreas que a ellos no les servían

debido a la calidad de la roca. Se dieron diferentes zonas de la mina, desde distancias de 50 metros del punto de stock de materia, hasta 1 km del punto de stock.



**Figura 18.** Vista aérea de La Mina La Chilena, Holcim.

En la figura 18 se puede observar todo el complejo de la planta de cemento Holcim, tanto planta de producción como mina.

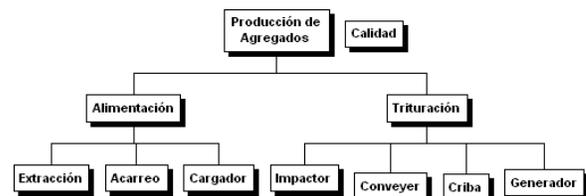


**Figura 19.** Vista aérea de La Mina La Chilena, Holcim.

En la figura 19 se muestran algunos de los sitios principales de explotación, y a su vez se pueden observar las distancias al sitio de stock y de trituración. La flecha roja indica el punto de ubicación del impactor y las flechas negras

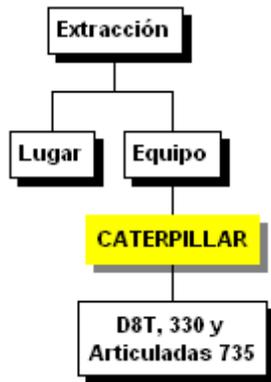
indican los lugares donde se permitió la extracción de material. El lugar más cercano estaba a 50 metros de distancia del impactor y el más largo a 1,8 kilómetros de distancia del impactor.

Con base en la descripción anterior y al proceso de trituración observado se pudieron determinar los insumos claves para el proceso de trituración de agregados a nivel de actividad en campo. Como actividad general ésta se dividió en 2 sub-actividades indicando en cada una de ellas el equipo o proceso que se requirió para llevar a cabo la sub-actividad.



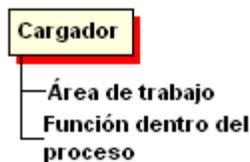
**Gráfico 1.** Insumos claves para la producción de agregados.

En el gráfico 1 se desglosa todo el proceso desde la actividad general que es producción de agregados hasta los equipos y procesos que se requieren para realizar los trabajos respectivos. Se puede observar que la actividad general (producción de agregados) se divide en 2 sub-actividades; alimentación y trituración. La sub-actividad alimentación se divide en: extracción, acarreo y cargador. La sub-actividad trituración se divide en: impactor, 2 conveyers, criba y generador. Éstos son los procesos principales y los activos necesarios para llevar a cabo la tarea. A continuación se van a analizar cada una de la ramas del gráfico 1 para determinar en detalle todos los aspectos que afectan la producción de agregados.



**Gráfico 2.** Extracción.

Según se observa en el gráfico 2 la extracción consiste en obtener un lugar previamente definido y un equipo para llevar a cabo la extracción de material. Es conveniente que el lugar o sitio de extracción esté cerca del área de trituración, esto para mejorar la eficiencia y costo. Es muy determinante el equipo que se utiliza para llevar a cabo la extracción. El equipo debe ser equipo especial para trabajos en roca. En el proceso se utilizó un tractor CAT D8T roquero, una excavadora CAT 330 L de 30 toneladas y vagonetas articuladas de 22 m<sup>3</sup>. No siempre hubo acarreo, pero en los casos en que hubo, las vagonetas fueron cargadas por la excavadora que cumplía dos funciones la de extraer material y la de cargar las vagonetas. El ciclo de extracción era simple; el tractor extraía material y lo acumulaba para que la excavadora cargara el material o la excavadora y tractor extraían material y al mismo tiempo la excavadora cargaba las vagonetas. El ciclo era constante hasta cumplir con la meta del día. El material era cargado hasta el sitio de stock determinado para el material grueso. Este se ubicaba en la zona de trabajo del cargador para que a éste le fuera más fácil realizar la tarea de alimentar el impactor.



**Gráfico 3.** Cargador.

En muchos de los casos el cargador va a ser el que determina la eficiencia del impactor, ya que éste es el que se encarga de alimentarlo y de

desembonar el material, por eso el área de trabajo debe ser tal que el cargador pueda trabajar cómodamente y con facilidad de desplazarse a cualquier sitio alrededor del impactor. Las funciones del cargador dentro de este proceso fueron: alimentar, desembonar, y cargar vagonetas. A principios se utilizó un cargador CAT 988 modelo 78, pero se vio que por el tamaño era un cargador ineficiente ya que no daba abasto con la producción. Se trabajó con un CAT 988 ayudado por un CAT 966 pero se observó que el CAT 988 trabajaba a un 80 % y el CAT 966 trabajaba un 50%. Se daba abasto al proceso pero se tenía dos cargadores no trabajando al 100% lo cual elevaba los costos innecesariamente. Se terminó trabajando con un solo cargador, el CAT 966, el cual resultó un cargador muy eficiente que cumplió con todas las expectativas de trabajo que se asignaron. Trabajaba al 100% y daba abasto con las tareas de producción.



**Gráfico 4.** Generador.

La generación de electricidad es indispensable para el funcionamiento del equipo de trituración. En el gráfico 4 se observan los elementos básicos que se deben de tomar en cuenta al instalar el generador. El sitio, tipo de alimentación por combustión y su ubicación y lugar dónde ubicar el generador son claves para el buen rendimiento de éste. El generador tenía una potencia de 600 HP, equivalente a un CAT D10. El voltaje era de 480 V.



**Gráfico 5.** Impactor.

Según lo observado en el sitio, se evidenció que el impactor requiere de algunos

aspectos básicos para su funcionamiento, esto se manifiesta en el gráfico 5. En dicho gráfico se observan 4 aspectos claves; fuente de energía, sitio, operador y ayudante. Estos aspectos son los mínimos para que el impactor pueda trabajar.



Gráfico 6. Conveyer.

Los conveyers son los que distribuyen el material por medio de las bandas. Son eléctricos, cada uno con un motor de aproximadamente 15 HP. Su distribución en sitio es indispensable para la buena distribución del material. En el gráfico 6 se detallan algunos de los aspectos básicos para el manejo de los conveyers, entre ellos las pendientes de los conveyers.

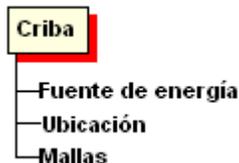


Gráfico 7. Criba.

Según el gráfico 7 la criba lo que requiere para su funcionamiento es energía (eléctrica), una buena ubicación según la ubicación del impactor y conveyers, y las mallas que definen la granulometría del material y la producción.

Los costos del proyecto fueron muy importantes dentro de éste ya que los costos de base y sub base eran imprescindibles en las utilidades del proyecto. Según la cantidad de horas máquina y la producción diaria, semanal y mensual se determinó el costo por metro cúbico. El costo fluctuó mucho debido a la inestabilidad de las zonas de extracción ya que en sitios se requirió de mayores horas máquina para la extracción y acarreo de la materia prima. Las averías del equipo, más que todo del equipo de

trituration, afectaron los costos por metro cúbico. Las averías disminuían las producciones y por consiguiente aumentaban el costo de toda la actividad. Se utilizaron hojas en Excel para manejar los datos diariamente. En la página # 31 de la sección de apéndices se pueden observar los formularios utilizados para la recopilación diaria de los datos, tanto de horas máquina, como metros cúbicos de cada material y otras actividades ligadas a la producción de base o sub base. Los datos se introducían en una hoja de cálculo la cual indicaba las horas máquina para cada actividad (ver anexos). En la otra hoja se digitaban los datos relevantes a las producciones diarias, acumuladas, pendientes, entre otros (ver anexos). En otra hoja aparte de las anteriores mencionadas, se digitaban las horas hombre. Con base en estas tres hojas de cálculo, los datos eran trasladados a la hoja de costo diario de material triturado, la cual relacionaba todas las actividades e indicaba un costo final del material triturado, explotado, acarreado, colocado y de costos finales. Con base en estos datos se generaron gráficos para la mejor visualización de los resultados, para mejorar la toma de decisiones. A continuación se presentarán cuadros y gráficos que ilustran los costos, las fluctuaciones y la relación entre las horas máquina y los metros cúbicos triturados.

**CUADRO 3. COSTO DIARIO DE MATERIAL TRITURADO**



**Costo diario de material triturado**

Constructora Meco S.A.

Fecha: 10/10/2007

Actividad / Equipo		Unidad	Cantidad	Costo/hora real Colones	Sub-total real Colones	Sub-total presupuestado Colones	Diferencia (-/+)
<b>1</b>	<b>Material</b>						
1,1	D8R	h	10	39.721,00	397.210,00	397.210,00	0,00
1,2	330C	h		27.308,00	0,00		0,00
1,3	Voladura	un			0,00		0,00
<b>2</b>	<b>Acarreo de material</b>						
2,1	330C	h		27.308,00	0,00		0,00
2,2	966	h		31.515,00	0,00		0,00
2,3	Articulada 735	h	8	38.310,00	306.480,00	0,00	-306.480,00
<b>3</b>	<b>Alimentación del Impactor</b>						
3,1	988	h		28.790,00	0,00		0,00
3,1	966	h	5	31.515,00	157.575,00	157.575,00	0,00
<b>4</b>	<b>Impactor</b>						
4,1	Impactor	h	10	20.500,00	205.000,00	205.000,00	0,00
4,2	Generador	h	10	20.017,00	200.170,00	200.170,00	0,00
<b>5</b>	<b>Carga de vagonetas y stock</b>						
5,1	988	h		28.790,00	0,00		0,00
5,2	966	h	5	31.515,00	157.575,00	157.575,00	0,00
<b>7</b>	<b>Extras</b>						
7,1	Torre de iluminación	un			0,00		0,00
<b>8</b>	<b>Salarios</b>						
8,1	Operador	h	11,5	950,00	10.925,00	10.925,00	0,00
8,2	Ayudante	h	11,5	749,00	8.613,50	8.613,50	0,00
8,3	Chequeador	h	11,5	749,00	8.613,50	8.613,50	0,00
<b>9</b>	<b>Producción</b>	<b>m3</b>	<b>850</b>	<b>1.708,43</b>	<b>1.452.162,00</b>	<b>1.145.682,00</b>	
				<b>colones/m3</b>	<b>Colones</b>		
<b>10</b>	<b>Costo de extracción</b>		<b>703.690,00</b>	<b>Colones</b>	<b>Observaciones:</b>		
<b>11</b>	<b>Derecho de extracción</b>		<b>664.275,00</b>	<b>Colones</b>			
<b>12</b>	<b>Costo de trituración</b>		<b>748.472,00</b>	<b>Colones</b>			
<b>13</b>	<b>Costo de acarreo</b>		<b>132.855,00</b>	<b>Colones</b>			
<b>14</b>	<b>Costo Total</b>		<b>2.646,23</b>	<b>Colones/m3</b>			
			<b>5,08</b>	<b>Dólares/m3</b>			

El cuadro 3 es el cuadro en donde se manejó el control de costos diarios. En el cuadro 3 se puede observar el costo unitario de cada equipo y de la mano de obra, al igual que el costo diario de cada actividad o equipo. También se puede observar un costo presupuestado que sería el costo estimado que debería de tener cada equipo según lo planeado. Se divide en costo de extracción, derecho de extracción (el cual fue un monto por metro cúbico que cobró Holcim Costa Rica por el derecho de explotar el material de La Mina La Chilena propiedad de ellos), costo de trituración y el costo de acarreo del quebrador al proyecto. El costo presupuestado era fijo, equivalente a un monto de 10 dólares o 5210 colones por metro cúbico. El costo diario se

manejó por medio de horas efectivas de los equipos y de la mano de obra. Cada equipo tiene un horímetro el cual marca las horas laboradas diarias. Los datos diarios de costos se introducían en otro cuadro resumen que contemplaba los costos mensuales según los días laborados al mes. A continuación el mencionado cuadro.

<b>Cuadro 4. Tabla resumen del mes de Agosto</b>				
<b>Día</b>	<b>Producción</b>	<b>Real</b>	<b>Presupuestado</b>	<b>Diferencia (+/-)</b>
Agosto	m3	Dólares	Dólares	Dólares
1	750	5,13	10,00	4,87
2	872	4,69	10,00	5,31
3	720	6,42	10,00	3,58
4	600	6,58	10,00	3,42
5	400	9,04	10,00	0,96
6	878	5,49	10,00	4,51
7	264	8,02	10,00	1,98
8	481	7,00	10,00	3,00
9	912	5,02	10,00	4,98
10	900	6,55	10,00	3,45
11	700	7,05	10,00	2,95
12	1000	4,97	10,00	5,03
13	412	5,76	10,00	4,24
17	432	6,28	10,00	3,72
18	660	4,42	10,00	5,58
19	660	4,52	10,00	5,48
20	850	5,61	10,00	4,39
21	350	7,10	10,00	2,90
22	692	5,42	10,00	4,58
23	760	6,85	10,00	3,15
24	740	6,80	10,00	3,20
25	152	13,99	10,00	-3,99
26				
27				
28	640	5,28	10,00	4,72
29	328	7,24	10,00	2,76
30	924	5,65	10,00	4,35
31	150	17,44	10,00	-7,44
	<b>561,7307692</b>	<b>6,86</b>	<b>10,00</b>	<b>3,14</b>
	14605	178	260	82

<b>Cuadro 5. Tabla resumen del mes de Septiembre</b>				
<b>Día</b>	<b>Producción</b>	<b>Real</b>	<b>Presupuestado</b>	<b>Diferencia (+/-)</b>
Sept	m3	Dólares	Dólares	Dólares
1	1020	5,27	10,00	4,73
2	634	6,28	10,00	3,72
3	512	7,90	10,00	2,10
4	650	6,83	10,00	3,17
5	870	5,63	10,00	4,37
6	1060	5,22	10,00	4,78
7	360	14,77	10,00	-4,77
8	500	9,37	10,00	0,63
9				
10				
11	680	5,80	10,00	4,20
12	460	9,47	10,00	0,53
13	1160	3,72	10,00	6,28
14	1004	6,14	10,00	3,86
15	580	8,03	10,00	1,97
16	592	8,49	10,00	1,51
17	288	15,00	10,00	-5,00
18	680	5,14	10,00	4,86
19	690	6,88	10,00	3,12
20	740	5,87	10,00	4,13
21	200	9,13	10,00	0,87
22				
23				
24				
25	180	18,94	10,00	-8,94
26	720	7,02	10,00	2,98
27	760	6,32	10,00	3,68
28	740	7,63	10,00	2,37
29				
30				
31				
	<b>583,7391304</b>	<b>8,04</b>	<b>10,00</b>	<b>1,96</b>
	13426	185	230	45

Según se mencionó anteriormente sólo se analizarán los costos de los meses de agosto y septiembre. En el cuadro 4 se observa el cuadro resumen del mes de agosto. En el cuadro 5 se muestra el cuadro resumen del mes de septiembre. El mes de agosto tuvo 26 días

efectivos y en el mes de septiembre se laboraron 23 días efectivos. Los valores están dados en dólares. La diferencia negativa significa que los costos son mayores a los presupuestados. La diferencia positiva significa que los costos son menores a los presupuestados.



## Estado de resultados por día / Agosto

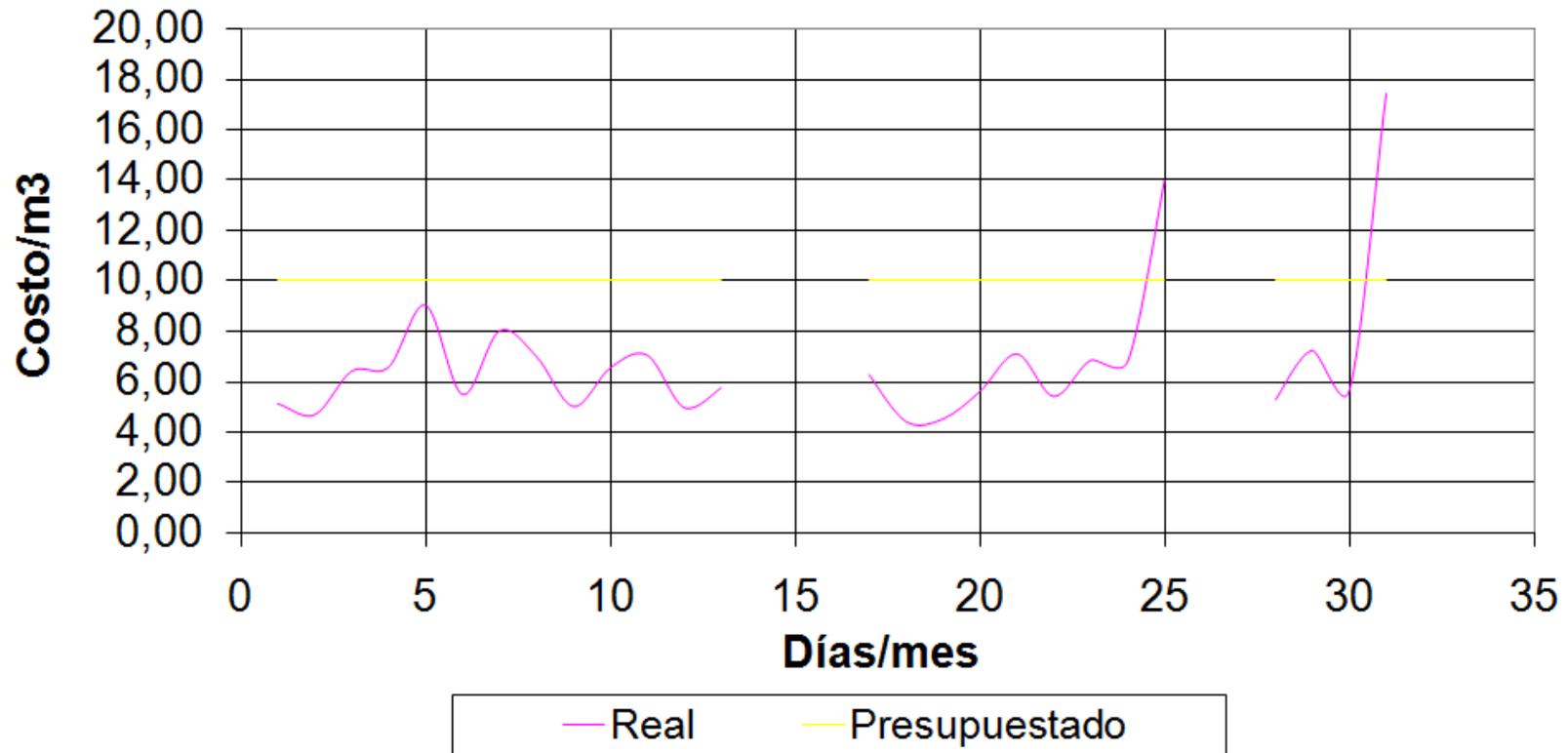


Gráfico 8. Estado de resultados Agosto.



## Estado de resultados por día / Septiembre

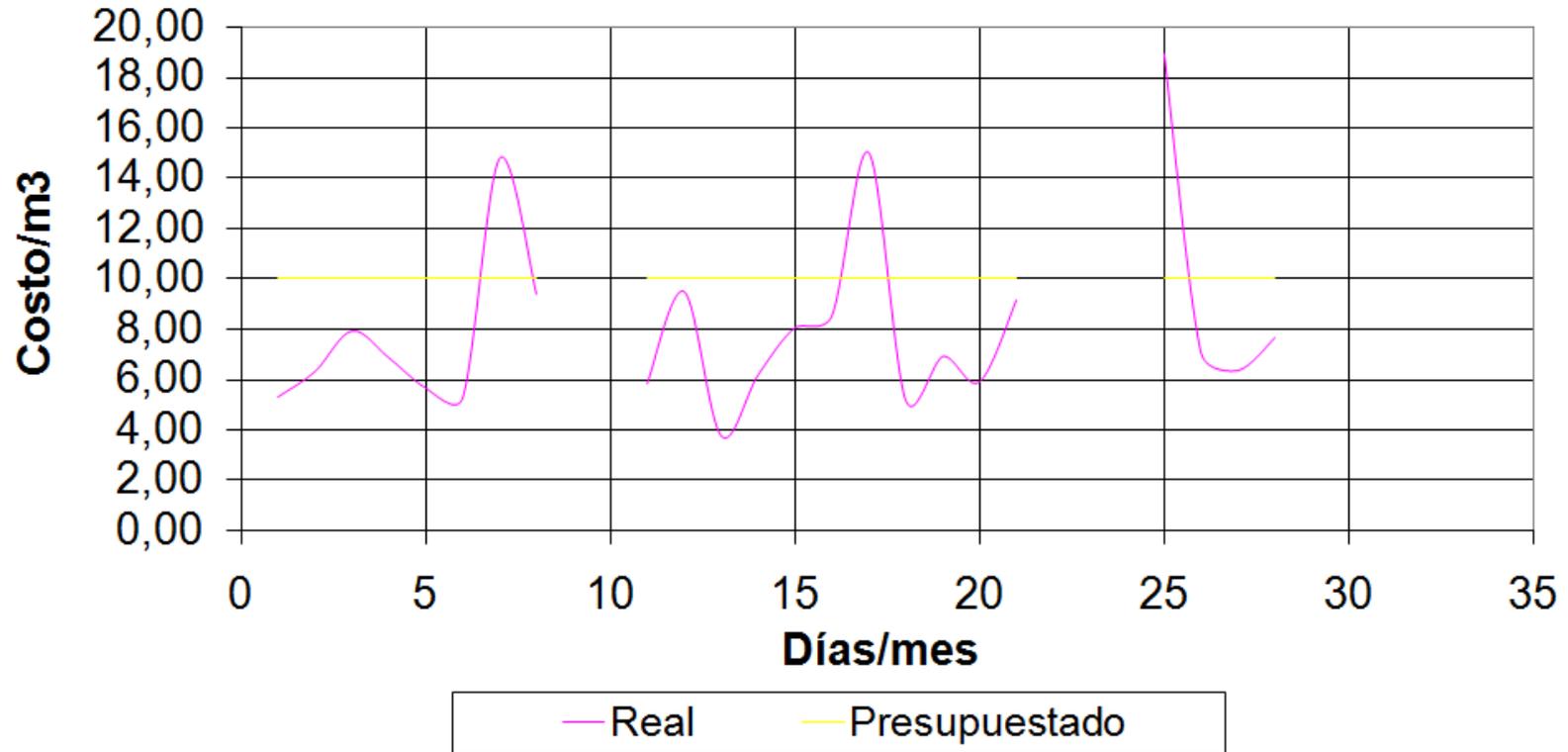
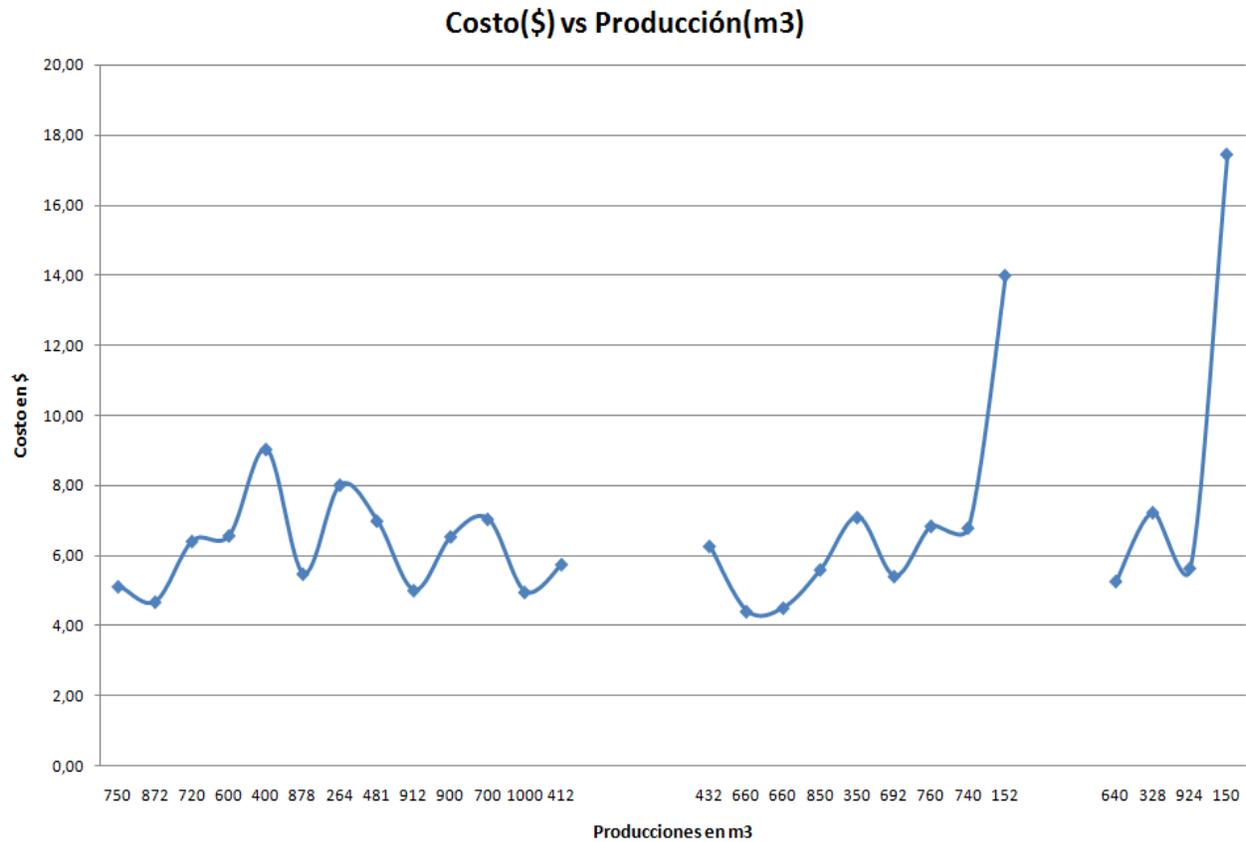


Gráfico 9. Estado de resultados Septiembre.

En los gráficos 8 y 9 se observa el diagrama de de costo vs día al mes. Los costos están dados en dólares. Los datos de los gráficos vienen de los cuadros 4 y 5 respectivamente. La línea

rosada representa el costo real diario y la línea amarilla representa el costo presupuestado, el cual es un costo fijo ya que así se cotizó en la oferta.



**Gráfico 10.** Costo vs producción de agosto.

En el gráfico 10 se observa la relación entre el costo en dólares y la producción diaria del mes de agosto. La secuencia de producciones es

según el día del mes, según la producción del día a día. Se refleja claramente la fluctuación del costo.

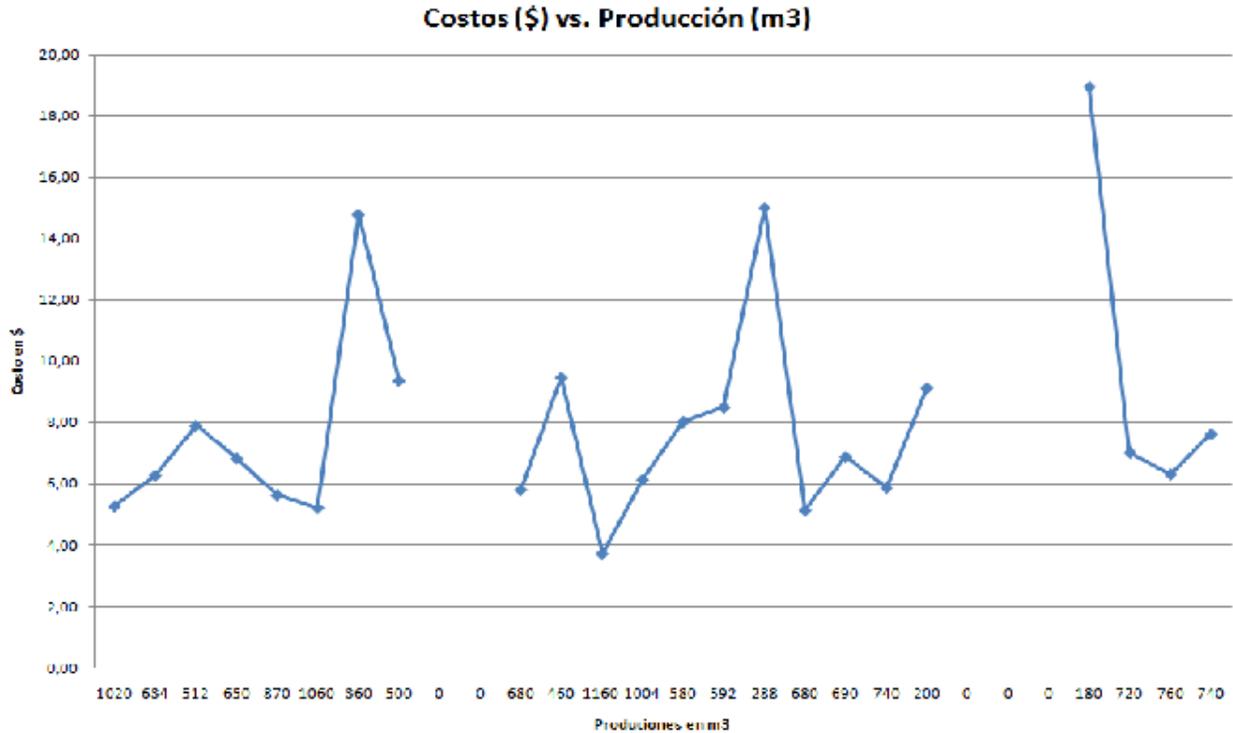


Gráfico 11. Costo vs producción de septiembre.

En el gráfico 10 se observa la relación entre el costo en dólares y la producción diaria del mes de agosto. La secuencia de producciones es

según el día del mes, según la producción del día a día. Se aprecia claramente la fluctuación del costo.

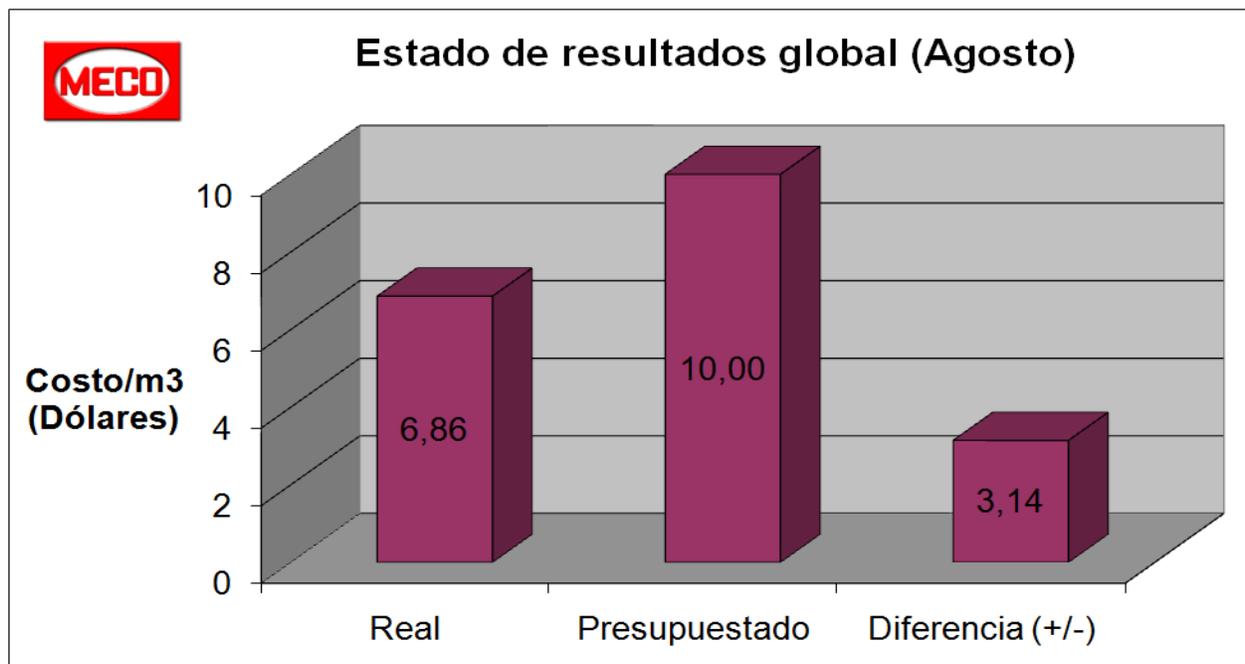


Gráfico 12. Estado de resultados global del mes de Agosto.



## Estado de resultados global (Septiembre)

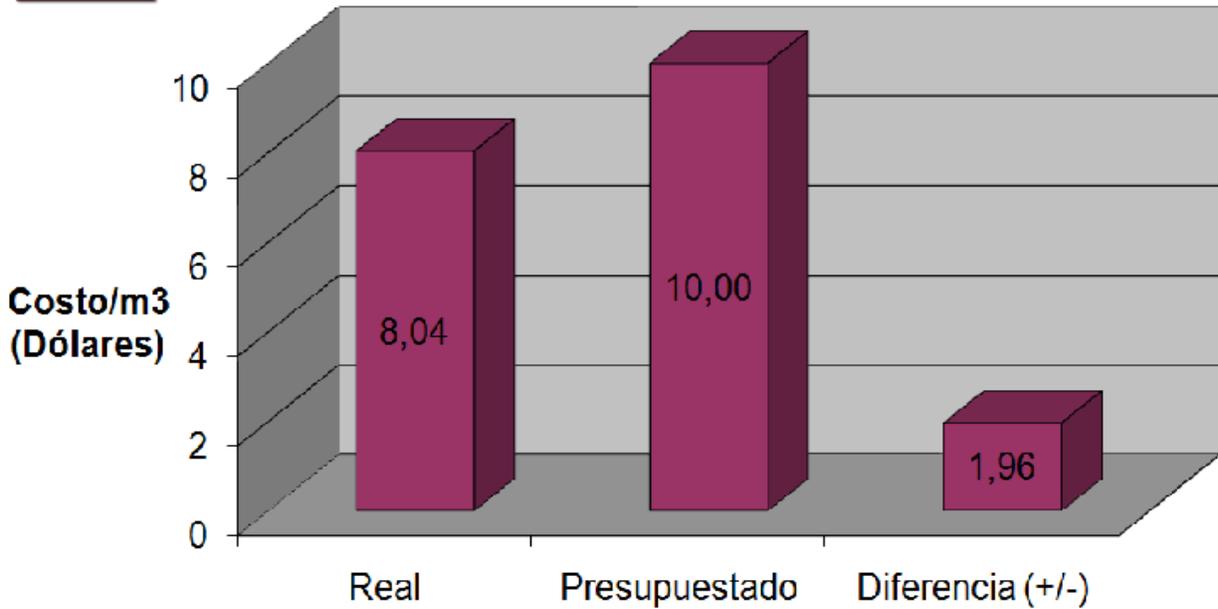


Gráfico 13. Estado de resultados global del mes de Septiembre.

En los gráficos 12 y 13 se puede observar el costo mensual real, presupuestado y la diferencia entre éstos. La diferencia positiva indica que el costo fue menor al presupuestado. El indicador de diferencia positiva se puede tomar como un índice de ganancia.

# Análisis de los resultados

El equipo y su organización son factores muy importantes dentro del manejo de quebradores. El caso nuestro fue un impactor móvil. Se pudo identificar que para la actividad se requiere de un equipo mínimo para que todas las sub actividades trabajen adecuada y eficientemente. En las figuras 1, 2 y 3 se puede observar la distribución inicial y final de los equipos y las zonas de trabajo. En un inicio se instaló el impactor a como mejor se acomodara dentro del espacio existente, sin tomar en cuenta varios aspectos, tales como el viento, piso, drenajes de aguas pluviales y distancias del sitio de extracción. La instalación inicial fue la misma con que se trabajó en el transcurso del proyecto, a excepción del generador que sí se movilizó por efectos del polvo. El viento es un factor determinante a la hora de instalar el equipo de trituración ya que dependiendo de la dirección de éste el polvo va a perjudicar al operador y a las máquinas. Como se puede observar en la figura 14 el polvo, producto de la trituración, afecta la salud y la visibilidad del operador del impactor, causando lesiones en el cuerpo si no se usa el debido equipo de protección personal, y disminuye la visibilidad hacia los otros equipos alrededor de él, lo que pudiera generar un accidente o un control muy limitado de todo el equipo. En la ubicación, en la que el equipo se instaló, éste recibe directamente todo el polvo, lo que afecta sus componentes, en especial los ejes, los rodillos y los motores ya que el polvo tiende a atascar dichos elementos y a producir averías mayores si a éstas no se les pone cuidado, de ahí el engrasado 3 veces diarias que se tuvo que realizar para mantener todo el equipo en las mejores condiciones posibles. El otro factor al cual se le tuvo que dar solución fue al de las aguas llovidas. Al momento de instalar el equipo no se tomó en cuenta el drenaje de aguas pluviales. Una vez instalado el equipo se observó que el sitio donde se ubicaron los equipos era un drenaje natural de aguas pluviales. Ese drenaje natural recogía las aguas de lluvia del frente

principal de la mina, siendo esto un canal de gran caudal en tiempos de lluvia. Para esto se tuvo que levantar un piso de aproximadamente 80 centímetros el cual se realizó con todo tipo de material grueso y triturado. Se logró encausar las aguas sobre un canal artificial. El encausamiento de las aguas se puede observar en la figura 15. Con el acceso al sitio de trabajo no se tuvo ningún problema ya que el sitio tenía un acceso que fue usado eficientemente. Este acceso se puede observar en la figura 3 y 16. Analizando la distribución del equipo en el sitio se determinó que son muchos los insumos que hacen que se realice la actividad. La distribución del equipo en sitio se debe analizar con suficiente tiempo antes de la instalación final. Es de vital importancia conocer el sitio y sus alrededores. En el caso en estudio no se investigó con anticipación el sitio de trabajo por lo que se omitieron varios factores importantes que afectaron la actividad. Los trabajos que se realizaron para mitigar los efectos anteriormente mencionados generaron un costo adicional que fácilmente se pudo haber economizado.

Los sitios de explotación del material fueron otro punto que no se tomó en cuenta desde un inicio. No se tuvo un sitio fijo de explotación, trayendo grandes consecuencias en lo que costos se refiere. Más adelante se tomará este tema. Según el gráfico 2 para la explotación del material se utilizaron: 1 tractor CAT D8T roquero y una Excavadora CAT 330L. Aunque tienen una capacidad similar en lo que es extracción de material, el rendimiento de éstas varía según el tipo de operador, el clima, el sitio de trabajo y el tipo de material en el que se está trabajando. En un tractor D8 con operador excelente, clima seco, trabajando en piedra caliza se producían aproximadamente 3000 m<sup>3</sup> de material (materia prima) en 11 horas efectivas, unos 272 m<sup>3</sup>/hora. En cambio con un operador regular, clima seco, trabajando en piedra caliza, producía aproximadamente 2000 m<sup>3</sup> en una jornada de 11 horas efectivas, unos 182 m<sup>3</sup>/hora.

Ambas situaciones se dieron en sitios donde el tractor tenía buen espacio para trabajar, pero es muy diferente cuando el tractor tiene un espacio limitado para realizar el trabajo. En condiciones iguales a las anteriormente mencionadas, a excepción del área de trabajo, las producciones cambian considerablemente. Para el primer caso anteriormente mencionado las producciones varían de 3000 m<sup>3</sup> a 1500 m<sup>3</sup> y para el segundo caso expuesto las producciones varían de 2000 m<sup>3</sup> a 1000 m<sup>3</sup>. Esto tomando en cuenta que el clima era seco, pero en condiciones de clima lluvioso las producciones de los equipos disminuían un 20 % debido a que el material tendía a contaminarse de finos (barro o arcilla). Esto es muy importante de tomar en cuenta ya que bajo las condiciones en las que tuvo que trabajar el impactor, lo máximo que llegó a triturar fueron 1250 m<sup>3</sup> en 11 horas efectivas. Esto quiere decir que dependiendo del lugar, clima y tipo de operador la cantidad de material que extraía de la mina era o no suficiente para dar abasto al impactor. Debido a estas variaciones en las condiciones de trabajo se tuvo también la excavadora antes mencionada. La excavadora se utilizó como un equipo auxiliar del tractor ya que su función principal fue la de cargar el material a las vagonetas articuladas y también la de extraer material en zonas donde al tractor se le hacía difícil. Las vagonetas articuladas cubicaban 22 m<sup>3</sup> lo que a la excavadora le tardaba 2 minutos en promedio para cargarlas. Dependiendo de los sitios de explotación se tuvo que acarrear material hacia la zona del impactor. Según se puede observar en la figura 19, la flecha roja indica la ubicación del impactor y las flechas negras los diferentes sitios de explotación. La distancia más larga de acarreo fue de 1,8 kilómetros y la más corta de 50 metros. Los tiempos promedio de acarreo fueron de 10,5 minutos y de 1 minuto respectivamente. Estas diferencias en sitios de explotación involucraron el acarreo lo que afectó negativamente los costos del proyecto.

El cargador fue otro equipo muy determinante dentro del proceso. Según el gráfico 3 al cargador se le deben de asignar sus funciones dentro del campo y a la vez darle las condiciones para que éste pueda trabajar eficientemente. En el proyecto el cargador estuvo a cargo de alimentar el impactor, desembonar el material y ubicarlo en su respectivo stock y también cargar las vagonetas que acarrearán el

material hacia la carretera. En un inicio se laboró con un cargador CAT 988. El cargador CAT 988 cubica 4,5 m<sup>3</sup> de material en su balde pero es muy lento, lo que lo hace muy eficiente en labores de alimentación y desembone, pero no así realizando estas dos actividades más la cargada de vagonetas ya que el tamaño y peso de la máquina no le permiten movilizarse rápidamente sin que una de las tres actividades tenga que esperar. Con esto quiero decir que si el cargador se iba a cargar las vagonetas el impactor se quedaba sin material y si éste se quedaba alimentando al impactor se le acumulaban las vagonetas y éstas tenían que esperar más tiempo. En estas condiciones se puede decir que cargador trabajaba a un 100%, pero no cumplía con el ciclo, lo que bajaba el rendimiento de trituración. En la figura 4 se puede observar un cargador 966 el cual se trajo para ayudarle al cargador 988 con el fin de mantener la tolva del impactor siempre llena (el impactor triturando el 100% de su tiempo) y de agilizar la cargada de vagonetas. Ambos operadores eran muy buenos operadores. El cargador 988 se encargó de alimentar el impactor y el cargador 966 se encargó de desembonar y cargar las vagonetas. Al tener un equipo adicional cumpliendo las funciones del otro se produjeron tiempos muertos en los equipos, esto quiere decir que tanto el cargador 988 y el cargador 966 trabajaban un 75%, es decir había tiempos en que se paraban, ya sea porque la tolva estaba llena o no habían vagonetas que cargar. Hubo horas muertas no aprovechables de ambos cargadores lo cual perjudicaba la rentabilidad de las operaciones, por lo que se optó por sacar uno de ellos, se sacó el cargador 988. El cargador 966 es un cargador muy eficiente por su manejabilidad y su facilidad de desplazamiento en toda el área de trabajo. El cargador trabajando a un 100% daba abasto en las 3 actividades que le fueron encomendadas. Mantenía la tolva llena y cargaba las vagonetas conforme iban llegando. La versatilidad del cargador compensaba el tamaño del balde el cual cubica 3,8 m<sup>3</sup>. Se puede decir que el cargador CAT 966 trabajó al 100%. Esto se vio reflejado en la disminución de costos y en el aumento de la productividad del impactor.

En el gráfico 4 se observan los factores que hacen que el generador trabaje adecuadamente, basándose en que éste se encuentra mecánicamente bien. El generador fue la fuente de energía para todo el equipo de

trituration. El equipo de trituración requiere de una fuente de energía capaz de alimentar todos los motores dentro del proceso y de soportar el consumo de cada uno de ellos. En este caso el generador dio abasto a todo el equipo de trituración.

En los gráficos 5, 6 y 7 se observan los diagramas de los equipos de trituración. Estos equipos son los equipos claves del proceso de trituración. El impactor tuvo producciones muy variadas. Dichas producciones fueron determinadas por el tipo de material y por las averías del equipo. Haciendo un lado las averías del equipo, el impactor muestra una variación en lo que son las producciones según la dureza del material. Al triturar material calizo el impactor aumentó sus producciones mientras que al triturar material con concentraciones altas de sílice disminuyó su producción, esto debido a la dureza del material. Otras variaciones en las producciones se dieron debido a la humedad del material. Por las características de la mina el material de extracción tendía a contaminarse con finos, sean éstos barro o arcilla, lo cual perjudicaba dichas producciones. Al alimentar el impactor con material húmedo y con altas concentraciones de finos éste se compactaba en la tolva generando una masa de piedra gruesa y tierra dificultando el cribado interno en la tolva y el paso del material de la tolva hacia la cámara de impacto. Esto generaba producciones deficientes y materiales con plasticidades altas. El impactor cumplió la función de un quebrador primario y secundario. Se quebró material de sub base y de base. Del impactor el material era transportado hacia la criba. La criba separó el material en material grueso y material de base o sub base. La base se cribó con malla de 1,5 pulgadas y la sub base se cribó con mallas de 2 pulgadas. Según el cuadro 1 el porcentaje de materiales pasando es el siguiente: del total de material saliendo del impactor el 76,6 % pasaba las mallas de 2 pulgadas siendo este porcentaje la cantidad de sub base que se producía, mientras que el material retenido en las mallas de 2 pulgadas fue de 23,4 % material que era clasificado como grueso y limpio. Esto quiere decir que de 1000 m<sup>3</sup>, 766m<sup>3</sup> eran material de sub base y 234 m<sup>3</sup> material de rechazo que serviría para triturar material para la base. En cambio, para triturar material para base las mallas de 1,5 pulgadas variaban los porcentajes de material pasando y retenido en éstas. Según

el cuadro 2 el porcentaje de materiales pasando es el siguiente: del total de material saliendo del impactor el 67,6 % pasaba las mallas de 1,5 pulgadas siendo este porcentaje la cantidad de base que se producía, mientras que el material retenido en las mallas de 1,5 pulgadas fue de 32,4 % siendo este material clasificado como grueso y limpio. Esto quiere decir que de 1000 dm<sup>3</sup>, 676m<sup>3</sup> eran material de sub base y 324 m<sup>3</sup> material de rechazo que serviría para triturar material para la base. En este caso el material de rechazo se repasaba junto al material de rechazo antes acumulado lo que producía un 100% de material. Es evidente la diferencia de porcentajes de materiales pasando y retenidos en las diferentes mallas. La de 2 pulgadas va a permitir más material pasando ya que tiene una mayor área en sus cuadrículas mientras que lo contrario sucede con las mallas de 1,5 pulgadas. Según los manuales de la criba, los porcentajes pasando y retenidos en las mallas de 2 y 1,5 pulgadas deberían de ser: de 80% pasando y 20% retenido para mallas de 2 pulgadas y de 70 % pasando y 30% retenido para mallas de 1,5 pulgadas. El fabricante hace la salvedad de que estos datos varían según el tipo de material que se esté pasando. Esto indica que la criba está funcionando dentro del rango establecido.

Todos los aspectos anteriormente descritos afectan directamente los costos. Desde la ubicación, el estado del tiempo y la organización de los equipos determinan los costos de la actividad. Se obtuvieron costos diarios y mensuales de los meses de agosto y septiembre. Como se mencionó anteriormente se van a analizar sólo estos dos meses ya que para efectos de representar los costos de la actividad, estos meses fueron los más estables en producciones y averías.

En el cuadro 3 se puede observar el manejo de los costos diarios del proyecto. Los datos representados en el cuadro representan los costos del equipo utilizado en un día bueno, llámese bueno un día con producciones arriba de los 800 m<sup>3</sup> y con costos de trituración entre 2 y 4 dólares por metro cúbico. Se puede observar que se tienen 10 horas de tractor D8, 8 horas de articulada 735, 10 horas de cargador 966, 10 horas de impactor, 10 horas de generador, 11,5 horas de operador, 11,5 horas de ayudante y 11,5 horas de chequeador, estos no son costos fijos ya que las horas efectivas pueden variar al igual que la producción. A esto se le suman los

costos fijos que son los costos de derecho de extracción y el acarreo al proyecto Cartago Paraíso. Bajo estas condiciones y con una producción de 850 m<sup>3</sup> se tiene un costo total de \$5,08/m<sup>3</sup>, teniendo un costo de trituración de \$3,27/m<sup>3</sup>. Obsérvese bien que el cuadro 3 incluye acarreo lo que indica que el sitio de explotación no estaba cerca del sitio de explotación. El costo del acarreo no se había presupuestado por lo que fue un costo no deseado en toda la actividad. Si se analiza el ejemplo anterior, sin el costo de acarreo con las articuladas, el costo total por metro cúbico disminuye a \$4,39/m<sup>3</sup>, ahorrándose \$0,69/m<sup>3</sup> que multiplicado por la producción diaria de 850 m<sup>3</sup> se ahorraría 586 dólares por día, y multiplicado por 30 días al mes serían 17,595.00 dólares al mes la suma que se ahorraría. Pero lo que pasa es que los sitios de explotación obligaron a meter el acarreo con las vagonetas articuladas y dicho costos es muy alto. El costo del acarreo también involucra el costo adicional de la excavadora por cumplir la función de cargar las vagonetas.

Se analiza el siguiente escenario: 10 horas de tractor D8, 2 horas de excavadora 330, 8 horas de articulada 735, 10 horas de cargador 966, 10 horas de impactor, 10 horas de generador, 11,5 horas de operador, 11,5 horas de ayudante y 11,5 horas de chequeador, con una producción de 500 m<sup>3</sup>, el costo total por metro cúbico fue de \$7,58/m<sup>3</sup>. La diferencia en costo con respecto al primer caso es de \$2,50 /m<sup>3</sup>. Esto hace notar que las producciones van muy ligadas a los costos. Se pueden tener costos altos en lo que son horas máquina siempre y cuando las producciones sean altas, ya que cuanto mayor cantidad de metros cúbicos quebrados más eficiente se vuelve la actividad y disminuye el costo por metro cúbico de material triturado.

Debido a que el 90% de los sitios de explotación estuvieron a una distancia mayor a los 100 metros el acarreo fue prácticamente diario. Hubo unos días en que se acarrea material para 2 ó 3 días lo que encarecía el costo del día que se realizó el acarreo pero disminuía el costo de los días siguientes. Pero generalmente la mayoría de los días del mes se tuvo acarreo dentro de la actividad diaria.

En el cuadro 4 se puede observar el resumen mensual del mes de agosto. Se muestra que se tuvo una producción promedio de 562 m<sup>3</sup>, sumamente baja en comparación con los 800 m<sup>3</sup> establecidos como producción mínima. Se

tuvo un costo promedio de \$6,86/m<sup>3</sup>, 2,86 dólares arriba del monto máximo por metro cúbico. La diferencia promedio entre lo presupuestado y lo real fue de \$3,14/m<sup>3</sup>. Aunque el costo promedio fue menor al presupuestado las utilidades no fueron tantas como las esperadas. Se esperaba que la diferencia entre costo presupuestado y costo real fuera de \$6/m<sup>3</sup> mínimo. Estos resultados se deben a dos cosas en particular: producciones y costo de acarreo. 7 de los 26 días efectivos de agosto se obtuvieron producciones mayores a 800 m<sup>3</sup>, y 12 de los 26 días efectivos se obtuvieron producciones mayores a 700 m<sup>3</sup>. Esto quiere decir que el 46% de los días de agosto hubo producciones aceptables, menos del 50% de los días lo que hace ver que la actividad no fue tan eficiente como se planeó.

En el cuadro 5 se muestra el resumen mensual del mes de septiembre. Se puede apreciar que se tuvo una producción promedio de 584 m<sup>3</sup>, sumamente baja en comparación a los 800 m<sup>3</sup> establecidos como producción mínima. Se tuvo un costo promedio de \$8,04/m<sup>3</sup>, 4,04 dólares arriba del monto máximo establecido por metro cúbico. La diferencia promedio entre lo presupuestado y lo real fue de \$1,96/m<sup>3</sup>. Este dato indica que la utilidad de este mes disminuyó considerablemente tomando en cuenta que la diferencia en costos debía de ser de \$6,00/m<sup>3</sup>. Se tuvo una producción promedio similar a la de agosto pero el costo por m<sup>3</sup> aumentó. En este mes de septiembre los costos se elevaron considerablemente en comparación con los costos de agosto, esto debido al incremento en las horas acarreo.

Estos resultados se deben a dos cosas en particular: producciones y costo de acarreo. 5 de los 23 días efectivos de septiembre se obtuvieron producciones mayores a 800 m<sup>3</sup>, y 9 de los 23 días efectivos se obtuvieron producciones mayores a 700 m<sup>3</sup>. Esto quiere decir que el 40% de los días de septiembre hubo producciones aceptables. Si se observa bien el cuadro 5 se puede apreciar que hubo días con producciones muy buenas por arriba de los 1000 m<sup>3</sup> sin embargo también hubo producciones muy malas por debajo de los 400 m<sup>3</sup>. Esto pone en evidencia la irregularidad de las producciones producto de las averías, tipo de material y clima.

Estos supuestos se reflejan claramente en los gráficos 8, 9, 10 y 11. En el gráfico 8 se puede observar gráficamente el comportamiento diario de los costos del mes de agosto. Se puede

observar una variación irregular de los costos, que tiene dos costos por arriba de lo presupuestado. Relacionando el gráfico 8 con el gráfico 10 se puede observar que los días con costos altos (en el gráfico 8) son días en los que las producciones fueron deficientes, es decir hubo producciones bajas tal y como se observa en el gráfico 10. Al igual se puede observar que los costos bajos son producto de producciones altas. La línea muestra una tendencia irregular dependiendo de las producciones. Si las producciones tienden a aumentar los costos tienden a disminuir y viceversa.

En los gráficos 9 y 11 se muestra la variación de costos del mes de septiembre. En los gráficos se muestra un mismo comportamiento en relación con el costo producción, lo que indica que los costos están directamente ligados a la producción. El mes de septiembre muestra una media más alta que el mes de agosto, esto debido a que el promedio de las producciones fueron más bajas que las producciones de agosto y por consiguiente el costo promedio fue más alto que el de agosto.

En el gráfico 12 se puede ver el resumen de los costos del mes de agosto. Se observa que los costos presupuestados fueron mayores a los reales y que la diferencia promedio entre lo real y lo presupuestado fue de \$3,14/m<sup>3</sup>. En el gráfico 13 se puede apreciar el resumen gráfico de los costos del mes de septiembre. Se muestra que los costos presupuestados fueron mayores a los reales y que la diferencia promedio entre lo real y lo presupuestado fue de \$1,96/m<sup>3</sup>. Aunque en ambos meses se tienen costos menores a los presupuestados y a la vez se obtiene utilidad, estos límites son según la oferta presentada al CONAVI y aceptada por ellos. El problema es cuando se compara con la expectativa que tenía la empresa. El costo máximo por metro cúbico que la empresa esperaba tener era de \$4,00/m<sup>3</sup> para tener una diferencia entre lo real y lo presupuestado de \$6,00/m<sup>3</sup>. Esto quiere decir que para la empresa, se están perdiendo \$3,45 por cada metro cúbico de material de sub base y base colocada, lo que disminuye las utilidades. En el mes de agosto se quebraron 14.605 m<sup>3</sup>, lo que quiere decir que la empresa tuvo una ganancia de 45.605 dólares, pero dejó de ganar 41.770 dólares. En el mes de septiembre se quebraron 13.420 m<sup>3</sup>, lo que quiere decir que la empresa tuvo una ganancia de 26.303 dólares, pero dejó de ganar 54.217 dólares. En solo los

meses de agosto y septiembre la actividad pudo haber aumentado sus utilidades en 95.987 dólares.

Aunque solamente se estudiaron los meses de agosto y septiembre, éstos reflejan muy bien el comportamiento de la actividad en el resto de los meses. Los anteriores meses presentaron gran cantidad de días en avería, problemas con la calidad del material y problemas con los sitios de extracción, más que todo por las distancias de acarreo. Los factores que desde un inicio se analizaron como causantes del alto costo del material se corroboraron con los datos obtenidos en los dos meses en estudio. Tanto los gráficos como los cuadros mostraron las tendencias de los costos según el tipo de maquinaria utilizada y proceso realizado. Los costos tan altos de acarreo no se habían contemplado desde un inicio, por eso es que se tienen diferencias negativas entre los datos reales y los datos esperados por la empresa. Los sitios de explotación estuvieron ligados con el costo de acarreo ya que cuanto más largo el sitio de extracción de materia prima más horas máquina en acarreo. No toda la mina tenía frentes con material de calidad que cumpliera con las especificaciones de calidad, específicamente con el límite de plasticidad. La mina es una fuente de material muy heterogénea, con gran cantidad de material arcilloso, entre ellos la arcilla consolidada que a simple vista parece piedra maciza. Debido a esta condición el material que se extraía de la cantera tendía a ir contaminado con material arcilloso lo que perjudicaba el producto final con niveles altos de plasticidad. No sólo afectaba el índice de plasticidad sino también la productividad del impactor, esto debido a que el material arcilloso se hacía una masa en la tolva que no permitía que avanzara hacia la cámara de impacto por lo que reducía la cantidad de material que pasaba por el impactor. El factor calidad se vio muy afectado por estas condiciones, en especial en los días de lluvia. Gracias a la presencia diaria en el quebrador hizo que los datos tomados fueran reales y representativos, y también el observar con detenimiento los detalles que afectaron los costos de la actividad. Como primer factor se analizó el costo del acarreo que aumentaba considerablemente el monto por metro cúbico. Como segundo factor se observó que las averías del equipo no permitieron que éste trabajara con eficiencia. Como tercer factor, las condiciones del

material afectaron la calidad y el desempeño del impactor. Como cuarto factor se observó que el equipo que se utilizó para la extracción de la materia prima fue un equipo caro.

# Conclusiones

- Se debe de analizar con anticipación las condiciones en las que los equipos van a trabajar.
- Se debe hacer un estudio previo para localizar un lugar adecuado para la instalación del equipo de trituración.
- Distribuir y organizar los equipos en el sitio de tal manera que no perjudiquen el trabajo de éstos. Se deben tomar en cuenta las áreas mínimas, las distancias de desplazamiento del cargador y los sitios de stock de material.
- Realizar un flujograma para identificar las actividades, sub actividades y equipos que requieren las actividades para organizar adecuadamente el ciclo de trabajo.
- Determinar los sitios de explotación de tal manera que queden a una distancia considerable del sitio de trituración, y que cumplan con los requerimientos de calidad.
- Una vez instalado el equipo de trituración determinar qué tipo de maquinaria para la explotación es la adecuada, tomando en cuenta el rendimiento, eficiencia y costo.
- Dependiendo del tipo de material se le debe hacer un mantenimiento periódico al equipo de trituración para evitar averías mayores.
- Una vez en funcionamiento llevar un control estricto y diario de producciones, horas efectivas, horas avería, cantidad de materia prima extraída, horas máquina en alimentación, extracción y trituración. Anotar todos los factores que se involucraron en la actividad.
- Los costos son afectados no sólo por las horas máquina, sino también por factores externos tales como: clima, sitio de extracción y tipo de material.
- El costo está directamente relacionado con las producciones.
- El costo es proporcional a la producción, cuanto mayor producción, menor el costo y cuanto menor producción mayor es el costo.

# Apéndices

Se adjuntan siete páginas que componen el apéndice. Corresponden al control diario de campo (horas máquina), control diario de material para relleno de alcantarilla, producción de material de sub base, producción de material de base, producción de material de rechazo limpio, producción de rechazo sucio, producciones totales diarias, material acarreado, material quebrado y planilla diaria respectivamente.

Los documentos antes mencionados corresponden a la toma de datos diaria.

# Anexos

Se adjuntan 10 páginas que corresponden a los anexos. A continuación se describen.

1. Descripción y dimensiones de un tractor D8T (utilizado para la extracción de material). Fuente: [www.cat.com](http://www.cat.com)
2. Descripción y dimensiones de una articulada 735 (utilizada para el acarreo). Fuente: [www.cat.com](http://www.cat.com)
3. Descripción y dimensiones de una excavadora 330 (utilizado para cargar articuladas y extracción de material). Fuente: [www.cat.com](http://www.cat.com)
4. Descripción y dimensiones de un cargador 966H (utilizado para cargar vagonetas y alimentar impactor). Fuente: [www.cat.com](http://www.cat.com)
5. Descripción técnica y especificaciones del impactor. [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)
6. Descripción y dimensiones de conveyers. Fuentes: [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)

# Referencias

- Chamoun. 2004. **ADMINISTRACIÓN PROFESIONAL DE PROYECTOS.** España: Editorial McGraw Hill Interamericana.
- González de Vallejo, L. 2002. **INGENIERÍA GEOLÓGICA.** Madrid: Editorial Prentice Hall
- González, A. 2007. **COSTOS DE MAQUINARIA PESADA.** San José, Edificio MECO. Comunicación personal.
- Salamanca, M. 2007. **CONTROL DE CALIDAD EN CAMPO.** Cartago, Mina La Chilena. Comunicación personal.
- Salamanca, M. 2007. **GESTIÓN EN CAMPO.** Cartago, Mina La Chilena. Comunicación personal.
- Salamanca, M. 2007. **RENDIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL.** Cartago Mina La Chilena. Comunicación personal,.