

Mejoramiento del proceso de producción y optimización de agregados producidos en el quebrador “Las Flores del Chirripó”.



Abstract

Different solutions are presented to improve the quality of concrete aggregates, which are generated in the production process in Constructora Navarro breaker, based on mobile equipment that allow the transfer to any place that is required. The study was prepared specifically for the company located in Río Frío Sarapiquí, on the block "**Las Flores Del Chirripó**" the one located in a concession over the Sucio river. The quality of the study is based on the materials characterization by ASTM standards, compared to the specifications of the 10854 MEIC regulations of concrete aggregates.

Different alternative scenarios are taken into account for improving production in the breaker "**Las Flores**", searching for previous survey of the site layout, after that, costs by hour of machinery and performance data taken in place were determined for establishing the actual cost per cubic meter of material produced.

The results illustrated that there are deficiencies in the quality of aggregates and the current distribution of the actual place is not the most appropriate to facilitate and make the production efficient.

Resumen

Se presentan diferentes soluciones para optimizar la calidad de agregados para concreto, generados en el proceso de producción del quebrador de la empresa Constructora Navarro, basado en equipos móviles que permiten su traslado a cualquier sitio que se requiera. El estudio se realizó específicamente para las instalaciones ubicadas en Río Frío de Sarapiquí, en el tajo "**Las Flores Del Chirripó**" ubicado en una concesión sobre el río Sucio. El estudio de la calidad está basado en la caracterización de los materiales por medio de las normas ASTM comparadas con las especificaciones de la normativa 10854 del MEIC de agregados para concreto.

Se estudiaron varias opciones para mejorar la producción en el quebrador "**Las Flores**", a partir de un levantamiento previo de la distribución del sitio, posteriormente se determinaron los costos horarios de maquinaria y se obtuvieron datos de rendimiento tomados in situ para establecer el costo actual por metro cúbico de material producido.

Los resultados mostraron que se tienen deficiencias en la calidad de los agregados y que la distribución actual del sitio no es la más adecuada para agilizar y hacer eficiente la producción.

Palabras Clave: Quebrador, Agregados, Producción, Calidad, Optimización.

Mejoramiento del proceso de producción y optimización de agregados producidos en el quebrador “Las Flores del Chirripó”.

ERIK ALBERTO ARAYA VARGAS

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

Diciembre del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	3
Marco teórico	4
Calidad Agregados	4
Producción de Agregados	7
Análisis de Costos	8
Metodología	10
Resultados	11
Caracterización de Agregados	11
Descripción Proceso de Producción.....	13
Costos de Materiales Producidos.....	19
Análisis de resultados	22
Conclusiones	29
Recomendaciones.....	30
Apéndices	311
Anexos	51
Referencias.....	52

Prefacio

En Costa Rica, en el ámbito de la producción de agregados, algunas veces se omite la importancia de brindar materiales de calidad para la confección de mezclas de concreto. Según el estudio realizado en 1994 “Características de los agregados nacionales” realizado por el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción del ITCR (CIVCO), la mayoría de fuentes de agregados del país no cumplen al 100% con las especificaciones mínimas establecidas en la normativa nacional.

Sin embargo, también existen empresas que velan periódicamente por ofrecer a sus clientes agregados de cumplan con los más altos estándares de calidad. La empresa Constructora Navarro está comenzando a incursionar en el mercado de agregados y quiere distinguirse de las demás empresas fabricando agregados acorde con las especificaciones establecidas en la normativa nacional.

La investigación pretende plantear soluciones para los agregados que no cumplan con las especificaciones establecidas en el decreto 10854 del Ministerio de Industria y Comercio (MEIC), referente a agregados para concreto y adicionalmente optimizar el proceso de producción al hacerlo más eficiente y reduciendo los costos.

Agradezco al personal de la empresa Constructora Navarro quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme la ayuda y el apoyo necesario para la realización de este trabajo.

Resumen ejecutivo

Como parte de la preocupación de la empresa Constructora Navarro por ofrecer agregados que cumplan con las especificaciones de la normativa nacional de agregados para concreto a sus clientes, se realizó la caracterización de los materiales producidos por la Empresa, junto con una propuesta para mejorar el rendimiento de la producción y reducir los costos de operación del quebrador.

Se realizó la caracterización de acuerdo a las normas ASTM C136, C117, C29, C40 C131, C127 y C128 (en sus versiones actualizadas). Estas normas explican el procedimiento para determinar características de los agregados relacionadas al peso unitario, gravedad específica, presencia de impurezas orgánicas, granulometría y abrasión.

La caracterización demostró que existen divergencias en los agregados finos arena y el polvo de piedra con respecto a las especificaciones establecidas en el decreto 10854 del Ministerio de Industria y Comercio (MEIC), mientras que la piedra cuarta presentó resultados favorables. Se encontraron deficiencias en la granulometría y cantidad de partículas más finas que el tamiz #200 del polvo de piedra y arena. Se determinó que la posible causa de las diferencias antes mencionadas es la ausencia de un equipo que complemente la separación de tamaños del agregado producido por la maquinaria disponible, lo cual favorece la mezcla de partículas gruesas con el agregado fino.

En relación al proceso productivo, se midieron los rendimientos de maquinaria para posteriormente analizar qué cambios se pueden realizar para mejorar la producción. Dichos rendimientos permitieron adicionalmente realizar un cálculo de los costos de los materiales que se producen.

El plantel del quebrador se encuentra construido sobre un relleno de materiales pétreos por lo que no existen problemas con respecto a la ubicación de los equipos puesto que la topografía

del terreno es plana, a excepción de los accesos al río lo que permite la operación adecuada de los mismos. Se encontró que la distribución actual del sitio no es la óptima, debido a que posee grandes distancias entre el lugar donde se produce el material y el sitio donde se almacena, lo cual ocasiona disminución en el rendimiento del cargador y demás costos asociados.

Los equipos trituradores y separadores de material son móviles y esta característica facilita el ajuste a diferentes condiciones de operación y permite producir en diferentes sitios. A pesar de esta ventaja, también existen algunos inconvenientes, de hecho se encontró que uno de los principales problemas en la producción es el no contar con un plan de mantenimiento que vele por el correcto funcionamiento de la maquinaria, y ello ocasiona grandes pérdidas por la paralización de la producción debido a la avería de algún equipo.

Introducción

En un país en el cual el uso del concreto como material principal en la mayoría de las construcciones es fundamental, se hace indispensable desarrollar mezclas con agregados pétreos de calidad que cumplan con las especificaciones y requerimientos establecidos en la normativa nacional vigente. Según un estudio realizado por el CIVCO (Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción del ITCR) en 1994, son muy pocas las fuentes de agregados que cumplen con las especificaciones de agregados para concreto establecidas en la normativa nacional. El mercado costarricense está consciente de ello, por lo que exige a sus proveedores agregados de calidad. El presente trabajo pretende realizar la revisión y optimización de los agregados para concreto producidos por la empresa Constructora Navarro con el fin de realizar las recomendaciones de mejora pertinentes y que así el cliente tenga un producto de calidad que garantice el desarrollo de concretos que cumplan con sus expectativas.

Además se inserta en este estudio un análisis del sistema de producción de agregados empleado por la empresa Constructora Navarro, el cual está basado en quebradores móviles, para brindar soluciones que mejoren la calidad y productividad del quebrador. El sistema de quebradores móviles permite a la empresa producir agregados en diferentes concesiones del país; sin embargo, el análisis se realizará específicamente para la concesión o Tajo Las Flores del Chirripó, ubicado en Río Frío de Sarapiquí, el cual es la principal fuente de extracción de la Empresa.

Los objetivos del estudio son:

Objetivo General:

1. Realizar una propuesta de optimización de los agregados y proceso de producción del quebrador “Las Flores del Chirripó” de la empresa Navarro y Asociados.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar los agregados producidos en el quebrador “Las Flores del Chirripó”, por medio de las normas ASTM referentes a agregados para concreto.
2. Realizar una propuesta para optimizar los agregados para concreto de acuerdo al decreto 10854 del Ministerio de Industria y Comercio (MEIC).
3. Mejorar el proceso de producción de la empresa para reducir costos de operación.

Marco Teórico

Calidad de los Agregados

En la construcción es muy importante contar con agregados para concreto, cuya calidad sea de primera, ya que ello garantiza la obtención de concretos que cumplan con las resistencias esperadas. El concreto se compone básicamente de agregados pétreos, como la arena y la piedra, cemento y agua; una adecuada proporción de cada uno de estos elementos garantizará el éxito del concreto. El agua de la mezcla es un elemento que si no se controla adecuadamente puede disminuir la resistencia final del concreto pero la arena y la piedra, por ser los elementos mayormente presentes en la mezcla, también cumplen un papel muy importante y se debe prestar atención a su calidad y adecuada distribución en el concreto. Para ello se deben conocer bien sus propiedades y características, entre las que se encuentran su origen, su proceso de obtención, su tamaño, su resistencia, su peso unitario, y otras características. Para lograr la resistencia esperada en una mezcla de concreto es fundamental contar con agregados de resistencia igual o superior a la esperada, pero también, es importante que en la mezcla existan diferentes dimensiones de agregados para garantizar el llenado de todos los espacios vacíos y producir una adecuada transmisión de esfuerzos. Existen diversos tamaños de agregados, los cuales se clasifican en dos grandes divisiones: agregados finos y agregados gruesos. En la clasificación de agregado grueso se encuentran las siguientes dimensiones:

- Piedra primera 5.0cm - 7.6cm
- Piedra segunda 3.8cm - 5.0cm.

- Piedra tercera 2.5cm - 3.8cm
- Piedra tercerilla 1.9cm - 2.5cm
- Piedra cuarta 1.2cm - 1.9cm
- Piedra quinta 0.95cm - 1.9cm

De estos tipos los más comerciales en el mercado son la piedra cuarta y la piedra quinta o quintilla. También existen otros productos utilizados en la construcción como la arena y el polvo de piedra o también llamado arena procesada o industrial. La diferencia entre estos dos últimos radica en el proceso de obtención; la arena se obtiene directamente del banco de extracción y luego se deposita sobre un tamiz que retiene las partículas de gran tamaño, dejando pasar únicamente el material fino. El polvo de piedra, en cambio, se obtiene de las diferentes etapas de triturado del agregado debido a que el quebrado de la piedra genera partículas muy finas que se van transportando en todo el proceso para luego ser separado y acumulado.

Otros conceptos importantes utilizados en el diseño de mezclas de concreto es el de gravedad específica y peso unitario; la gravedad específica se define como el peso de un agregado pulverizado sin aire dividido entre el peso unitario del agua destilada a temperatura normalizada (**ecuación 1**) y el peso unitario es la relación del peso seco del agregado y el volumen del mismo (**ecuación 2**).

$$G_{bs} = \frac{P_s}{V_s * \gamma_w} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

G_{bs}= Gravedad Específica

P_s= Peso seco

V_s= Volumen Seco

γ_w= Peso específico del agua

$$\gamma = \frac{Ps}{Vs}$$

Ecuación 2

Donde:

γ = Peso unitario

Ps= Peso seco

Vs= Volumen seco

Para definir la distribución de tamaños de las partículas en un agregado se realiza un análisis granulométrico, en el cual a través de tamices se va registrando que porcentaje del total

de la muestra pasa cada tamiz, para que de esta manera se determine la cantidad de los diferentes tamaños presentes en la muestra. Un tamiz es una superficie que contiene agujeros del mismo tamaño por los que pasa el material. El número o tamaño del tamiz es definido de acuerdo a la dimensión del agujero. En la construcción a los tamices también se les conoce como mallas. El **cuadro 1** muestra la clasificación de mallas según la ASTM (American Society for Testing and Materials).

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE TAMICES Y SU CORRESPONDIENTE ABERTURA SEGÚN ASTM			
A.S.T.M.	Abertura	A.S.T.M.	Abertura
5"	125 mm	#16	1,19 mm
4,24"	106 mm	#18	1,00 mm
3 ½"	90 mm	#20	0,85 mm
3"	75 mm	#25	0,71 mm
2 ½"	63 mm	#30	0,60 mm
2"	53 mm	#35	0,50 mm
1 ¾"	45 mm	#40	0,425 mm
1 ½"	37,5 mm	#45	0,355 mm
1 ¼"	31,5 mm	#50	0,300 mm
1"	26,5 mm	#60	0,250 mm
$\frac{7}{8}$ "	22,4 mm	#70	0,212 mm
$\frac{3}{4}$ "	19,0 mm	#80	0,180 mm
$\frac{5}{8}$ "	16,0 mm	#100	0,150 mm
0,53"	13,2 mm	#120	0,125 mm
$\frac{7}{16}$ "	11,2 mm	#140	0,106 mm
$\frac{3}{8}$ "	9,5 mm	#170	0,090 mm
$\frac{5}{16}$ "	8,0 mm	#200	0,075 mm
0,265"	6,7 mm	#230	0,063 mm
#3 ½"	5,6 mm	#270	0,053 mm
#4	4,75 mm	#325	0,045 mm
#8	2,36 mm	#400	0,038 mm

La ASTM también establece normas para determinar las características de un agregado, algunas de las principales son las siguientes:

- ASTM C136 Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos
- ASTM C117 Método de Prueba Estándar para Materiales Más fino que 75- μm (No. 200) por lavado.
- ASTM C29 Método de prueba estándar para la densidad aparente (Peso unitario) y Vacíos en agregados.
- ASTM C40 Método de Ensayo Normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.
- ASTM C131 Método de prueba estándar para resistencia a la degradación del agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles
- ASTM C127 Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados gruesos.
- ASTM C128 Método para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados finos.

Estas normas describen la metodología empleada y el equipo utilizado para el desarrollo de los ensayos respectivos. Sin embargo también existen otras normas que definen la calidad de los agregados, es decir, establecen la medida de los parámetros que se consideran como correctos. El decreto 10854 del Ministerio de Industria y Comercio (MEIC) detalla las especificaciones que deben tener los agregados gruesos y finos para concreto en parámetros como la granulometría, la cantidad de impurezas, la resistencia a la abrasión, entre otros.

Al considerar el agregado fino, el MEIC establece que el material debe cumplir con las especificaciones granulométricas del **cuadro 2**. Caso contrario, podrá ser aceptado, si se demuestra mediante diseños de mezcla que es

adecuado para realizar concreto de la calidad deseada.

CUADRO 2. REQUISITOS GRANULOMETRICOS PARA AGREGADO FINO (MEIC 10854)			
Tamiz	Tamiz (mm)	% Pasando	
		límite inferior	límite superior
#100	0.15	2	10
#50	0.30	10	30
#30	0.60	25	60
#16	1.18	50	85
#8	2.36	80	100
#4	4.75	95	100
3/8"	9.50	100	100

Al referirse al contenido de partículas orgánicas para agregado fino, el decreto 10854 menciona que serán aceptados todos aquellos agregados que tengan un número menor al normalizado por la norma ASTM C40 y para tal caso se establece como número patrón el número 3.

En relación con el modulo de finura, la especificación del MEIC determina que todo agregado fino debe poseer un módulo de finura entre 2.3 y 3.1 para ser aceptado y además no debe presentar más de un 45% de material retenido en dos tamices consecutivos.

De la misma forma que con el agregado fino, el decreto 10854, establece las especificaciones granulométricas de agregados gruesos para concreto. El **cuadro 3** detalla el porcentaje pasando para diferentes tamaños nominales de agregado.

Además se deben considerar otros requerimientos para agregados gruesos como lo son el porcentaje de pérdida en la prueba de abrasión según la norma ASTM C131 la cual establece un 50% de pérdida máximo. Con respecto a la prueba ASTM C117 el decreto del MEIC determina como aceptable un agregado fino que presente un porcentaje de material pasando el tamiz #200 menor al 4% para el caso de la arena y un 5% para el polvo de piedra.

CUADRO 3. ESPECIFICACIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MEIC 10854, 1973)

Porcentaje por peso de la fracción fina														
Número de tamaño	Tamaño Nominal (mm)	4" (100 mm)	3 1/2" (90m m)	3" (75 mm)	2 1/2" (63m m)	2" (50m m)	1 1/2" (37,5m m)	1" (25m m)	3/4" (19m m)	1/2" (12,5m m)	3/8" (9,5m m)	#4 (4,75m m)	#8 (2,36m m)	#16 (1,18m m)
1	90-37,5	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63-37,5	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50-25	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
3,57	50-4,74	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5-19	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
4,67	37,5-4,75	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25-12,5	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
5,6	25-9,5	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
5,7	25-4,75	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19-9,5	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
6,7	19-4,75	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5-4,75	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5-2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Producción de Agregados

En un quebrador existen diversas variables que afectan la producción. Entre ellas se pueden mencionar el rendimiento de maquinaria, las condiciones climáticas, el mantenimiento que se les dé a los equipos, la eficiencia del personal, la distribución y el tamaño del plantel, la tecnología empleada, los requerimientos del mercado, los aspectos administrativos, la normativa establecida en la concesión, entre otros.

En Costa Rica existen diferentes empresas que se dedican a la producción de agregados para concreto. Cada empresa ha realizado variaciones en sus procesos para adaptarlo a sus necesidades, optimizar la producción y reducir costos. En general el

proceso de un quebrador consiste en extraer primeramente material de la fuente (río o cantera), para luego ser transportado al alimentador del quebrador primario, desde allí es llevado lentamente hacia las muelas donde es triturado primeramente a un tamaño entre 15" y 2" dependiendo del equipo. Seguidamente es transportado por conveyors o fajas transportadoras a una divisora de partículas conocida como criba. La criba es un equipo constituido por diferentes tamices que separan la variedad de tamaños del material; los productos que se obtienen en esta etapa difieren de la cantidad y tipo de tamiz que posea la criba.

El material que no pasa el primer tamiz de la criba es transportado a un segundo triturador que puede ser cónico, para reducir el tamaño del mismo y así poder ingresar nuevamente a la criba y ser separado en los diferentes productos. La **figura 1** muestra un esquema resumido del proceso de producción de los agregados.

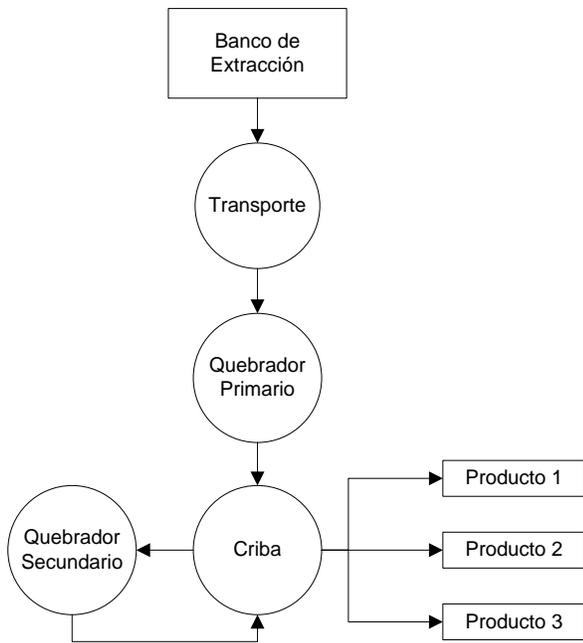


Figura 1. Esquema básico del proceso de producción en un quebrador.

Análisis de Costos

Es importante hacer la diferencia entre precio y costo. El costo es el valor invertido para generar un determinado producto, mientras que el precio es el costo del producto más la utilidad o ganancia que se quiera obtener por la venta de ese producto. En la determinación del costo se pueden diferenciar dos tipos, los costos directos y los indirectos. Los costos directos contemplarán parámetros como los insumos necesarios y los recursos empleados directamente en el producto. Por otra parte, los costos indirectos son aquellos generados por actividades necesarias para controlar la producción.

Las variables a considerar para calcular el costo según la producción en un quebrador difieren de la empresa, ya que cada una realiza ajustes para optimizar la producción y disminuir

los costos. Los siguientes son algunos factores que inciden en el costo final del producto:

- El CANON o porcentaje pagado al dueño de la concesión por el derecho a extracción del material del río o cantera.
- El alquiler de un terreno cercano a la concesión en donde se puedan colocar los equipos y acumular los materiales producidos.
- La maquinaria empleada tanto para la extracción como en el procesamiento o transformación del material la cual puede ser propia o alquilada.
- La mano de obra que labora en el quebrador.
- Los recursos empleados en la administración del quebrador incluyendo infraestructura y personal.

Los costos administrativos de las empresas generalmente se consideran como un porcentaje sobre el costo directo del producto. La **figura 2** presenta un detalle claro de la clasificación de costos de maquinaria.

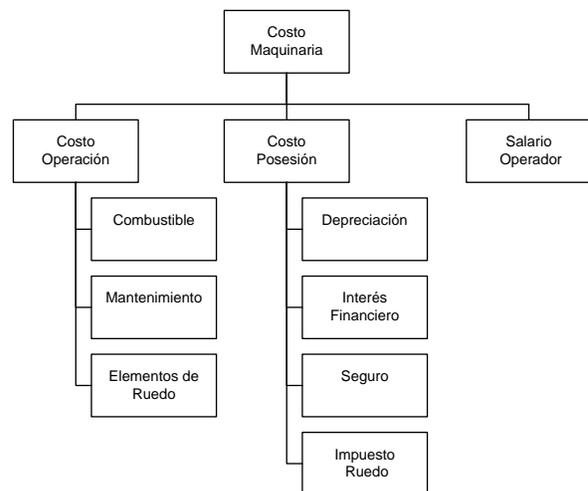


Figura 2. Distribución de los costos de maquinaria.

Es de suma importancia realizar un estudio profundo para establecer el costo horario de maquinaria debido a que los equipos empleados en estos procesos tienen un valor considerablemente alto. El manual de Rendimiento de Caterpillar es una referencia confiable para determinar este costo. El manual

muestra métodos para estimar el costo horario de maquinaria considerando factores como consumo de combustible, carga financiera por la adquisición del equipo, costos de mantenimiento preventivo y correctivo, depreciación de la máquina, impuestos y salario del operador.

Cada empresa tiene una forma diferente de estructurar sus costos y la diferencia aumenta cuando se trata de determinar el precio. La **figura 3** esquematiza los factores básicos para definir el precio de un producto determinado.

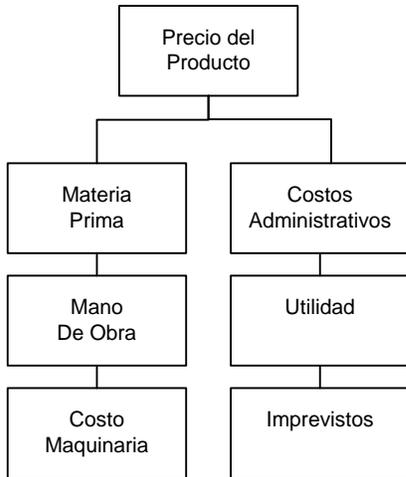


Figura 3. Factores básicos para determinar el precio de un producto.

En un quebrador el costo de la maquinaria utilizada se determina por hora, por esta razón, para poder determinar el precio es necesario conocer el rendimiento de los equipos, es decir, establecer cuantitativamente la cantidad del material producido en un periodo de tiempo determinado para asignar a cada fracción de material el costo del periodo de tiempo de la maquinaria empleada.

El cálculo de los rendimientos se realiza por medio de mediciones aleatorias realizadas en sitio; a esta actividad se le denomina muestreo ya que es una representación del total de datos que se podrían tomar. El muestreo se realiza debido a que recolectar todos los datos sería una labor imposible, debido al alto costo y cantidad de tiempo que este proceso involucra. A partir de un muestreo se puede proyectar el comportamiento de la población o totalidad de datos que se puedan generar en el proceso.

Por medio de la estadística se puede determinar que tan confiable o representativo es el valor obtenido comparado con la totalidad de la muestra. Para ello se hace uso de formulas matemáticas, como la media (ecuación 3) y la desviación estándar (ecuación 4), las cuales, junto con distribuciones de frecuencia, permiten determinar intervalos de confianza.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

\bar{x} = media.

n=numero de datos

x=dato n de la muestra

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

S= Desviación estándar para datos no agrupados

n=número de datos.

x=dato n de la muestra.

Una distribución de frecuencia permite observar el comportamiento de los datos de una muestra para luego, por medio de intervalos de confianza, determinar el rango en el cual se pueden encontrar realmente los datos recogidos de acuerdo con una probabilidad definida. Este procedimiento es recomendable hacerlo, debido a que, según Jorge Acuña en su libro *Control de Calidad*, (2002, pág. 72) “en estadística no es confiable hacer estimaciones puntuales y es necesario calcular intervalos en los cuales se espera que se encuentren esos parámetros con su nivel de confianza establecido.”

Metodología

Primero se investigó sobre el proceso de producción de agregados por medio de la web y también a través de visitas a quebradores para conocer las diferentes variables que intervienen en el proceso de fabricación de agregados para concreto.

Se caracterizaron los agregados para concreto gracias a muestras facilitadas por la empresa Constructora Navarro. Dicha caracterización se realizó de acuerdo con las normas ASTM C136, C117, C29, C40 C131, C127 y C128 (versiones actualizadas) en las instalaciones del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO), en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Mediante la información de las pruebas de laboratorio se revisaron los agregados de acuerdo con las especificaciones de agregados para concreto descritas en el decreto del MEIC 10854 y las normas utilizadas en la caracterización.

Se propusieron cambios en el proceso productivo para mejorar la calidad de los agregados que resultaron defectuosos.

Se realizó una descripción del sitio y proceso de producción mediante mediciones físicas del área y observación del proceso productivo para generar una distribución que optimice el proceso.

De acuerdo con la información facilitada por la empresa y a la teoría relacionada a costos del Manual de Rendimientos de Caterpillar edición 34, se determinó el costo horario de la maquinaria utilizada en el quebrador.

Se determinaron los rendimientos del equipo de acuerdo con la recolección de datos tomados en campo, y dichos datos se sometieron a un análisis estadístico para verificar su confiabilidad.

Con la descripción del sitio (**ver apéndice 2**) y los resultados de costos de maquinaria, se realizó un análisis para determinar el costo por metro cúbico de material producido, además de realizar una propuesta de redistribución del sitio

para aumentar los rendimientos del equipo y disminuir los costos de producción (**figura 4**).

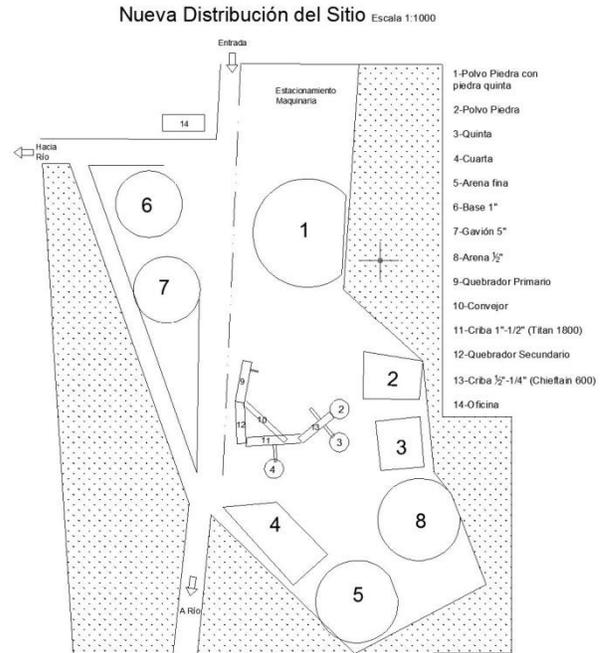


Figura 4. Nueva Distribución del sitio. (Ver apéndice 3 para mejor apreciación)

Resultados

Caracterización de los Agregados

Se recibieron las muestras de agregados suministradas por la Empresa, las cuales incluían los siguientes materiales: polvo piedra, piedra cuarta y arena. Para cada material se contaba con una cantidad aproximada a tres sacos estándar a mitad de su capacidad.

Cabe destacar que cuando se comenzaron los estudios en la Empresa, se contaba únicamente con una criba (TITAN 1800) en la que solo se podían instalar dos tamices y, por consiguiente, obtener dos productos (piedra cuarta y polvo piedra con partículas de gran tamaño). Esta situación limitaba los materiales producidos, por lo que la Empresa adquirió una segunda criba (CHIEFTAIN 600) para clasificar de una mejor manera los productos (piedra cuarta, piedra quinta y polvo de piedra).

Los resultados siguientes están basados en los agregados producidos por la Empresa en el periodo en el cual se contaba solamente con una criba. A pesar de que se conocían las intenciones de la Empresa por adquirir este nuevo equipo, no se sabía con exactitud cuándo estaría operando, por ello se procedió a realizar la caracterización de los materiales producidos con el equipo disponible hasta ese momento.

En el **cuadro 4** se muestran las pruebas que se realizaron a cada tipo de agregado de acuerdo con las normas ASTM actualizadas. Las normas seleccionadas se escogieron de acuerdo al equipo con el cual cuenta el laboratorio y las que se emplean frecuentemente en la caracterización de agregados para concreto.

CUADRO 4. PRUEBAS REALIZADAS

Norma ASTM	Polvo Piedra	Arena	Piedra Cuarta
Granulometría (C136)	X	X	X
Lavado #200 (C117)	X	X	
Peso Unitario (C29)	X	X	X
Impurezas Orgánicas (C40)	X	X	
Abrasión (C131)			X
Gravedad específica gruesos (C127)			X
Gravedad específica finos (C128)	X	X	

Los resultados de gravedad específica, colorimetría, peso unitario y lavado en malla #200 se tabularon de acuerdo con la prueba empleada, Dichos resultados se pueden observar en los **cuadros 5, 6, 7, y 8**.

CUADRO 5. GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C127, C128)

Material	Gbs	Gbss	Gs	Absorción
Polvo Piedra	2.54	2.63	2.80	3.74%
Arena	2.36	2.50	2.73	5.72%
Piedra Cuarta	2.64	2.70	2.80	2.06%

Gb: Gravedad específica bruta.
Gbss: seca superficie saturada.
Gs: Gravedad aparente.

CUADRO 6. PESO UNITARIO (ASTM C29)

Material	Suelto (kg/m ³)	Compactado (kg/m ³)
Polvo Piedra	1529.4	-
Arena	1436.9	-
Piedra Cuarta	1497.2	1590.8

El **cuadro 7**. Muestra los resultados con base en los patrones de color de vidrio, según norma ASTM C40.

CUADRO 7. IMPUREZAS ORGÁNICAS (ASTM C40)	
Material	Resultado
Polvo Piedra	Más claro que 2
Arena	Más claro que 2

CUADRO 8. LAVADO #200 (ASTM C117)		
Material	%pasando	%humedad
Arena	7.1%	7.2%
Polvo Piedra	7.7%	4.3%

Las pruebas de granulometría se presentan a continuación de acuerdo al material analizado. Las especificaciones mostradas corresponden a las establecidas en el decreto 10854 del MEIC.

CUADRO 9. GRANULOMETRIA ARENA (ASTM C136)		
Tamiz	%pasando	Especificación
9.5mm (3/8")	99%	100
4.75mm (Nº4)	80%	95-100
2.36mm (Nº8)	60%	80-100
1.18mm (Nº16)	39%	50-85
0.6mm (Nº30)	22%	25-60
0.3mm (Nº50)	10%	10-30
0.15mm (Nº100)	3%	2-10

CUADRO 10. GRANULOMETRIA POLVO PIEDRA (ASTM C136)		
Tamiz	%pasando	Especificación
9.5mm (3/8")	95%	100
4.75mm (Nº4)	59%	95-100
2.36mm (Nº8)	39%	80-100
1.18mm (Nº16)	25%	50-85
0.6mm (Nº30)	16%	25-60
0.3mm (Nº50)	8%	10-30
0.15mm (Nº100)	3%	2-10

CUADRO 11. GRANULOMETRIA PIEDRA CUARTA (ASTM C136)		
Tamiz	%pasando	Especificación
25.4mm (1")	100%	95-100
12.5mm (1/2")	37%	25-60
4.75mm (Nº4)	6%	0-10
2.36mm (Nº8)	4%	0-5

Los módulos de finura del **cuadro 12** se establecieron sumando los porcentajes retenidos acumulados hasta el tamiz #100 según lo establece la norma.

CUADRO 12. MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO	
Polvo piedra	4.55
Arena	3.87

En la prueba de abrasión (ASTM C131) realizada a la piedra cuarta, se obtuvo un porcentaje de pérdida de 28%, mientras que la especificación establece un 50% de pérdida como máximo.

El **cuadro 13** muestra cuales agregados cumplen con las especificaciones expuestas en el decreto 10854 de agregados para concreto, según las pruebas realizadas en el laboratorio.

CUADRO 13. CUMPLIMIENTO DECRETO 10854			
	Polvo Piedra	Arena	Piedra Cuarta
Granulometría	NO	NO	SI
Lavado #200	NO	NO	-
Part. Orgánicas	SI	SI	-
Abrasión	-	-	SI

Descripción del Proceso de Producción

En el proceso de producción de los agregados de la empresa Constructora Navarro se contaba con los siguientes equipos:

- 1 Quebrador primario Nordberg LT105
- 1 Quebrador secundario Matrax 1000
- 1 Criba TITAN(2 tamices)
- 1 Conveyor
- 2 Excavadoras CAT 322
- 2 Camiones Articulados CAT D250
- Cargador CAT 950H

Las siguientes figuras muestran una imagen de cada uno de los equipos para tener una mayor comprensión de los mismos.



Figura 5. Quebrador Primario



Figura 6. Alimentador del quebrador primario.



Figura 7. Quebrador Secundario (Cono)



Figura 8. Criba TITAN 1800



Figura 9. Conveor (faja transportadora)



Figura 10. Excavadora CAT 322



Figura 11. Camión Articulado CAT D250



Figura 12. Cargador CAT 950H

tamaño nominal de 20 a 22mm para luego ser procesado nuevamente por la criba completando el ciclo.

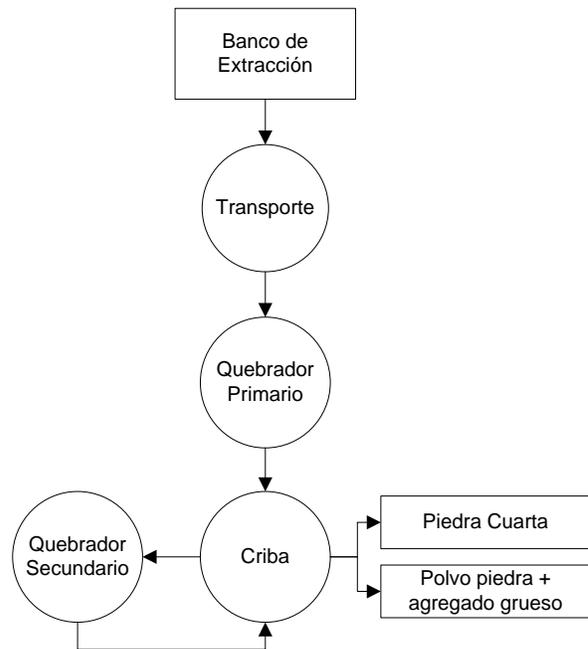


Figura 13. Esquema del proceso de producción

Los equipos trituradores (quebrador primario y secundario) y separadores de material (criba), son equipos móviles que se pueden desplazar y ubicar en cualquier lugar que cuente con el área y pendiente adecuada para operar. La criba TITAN es un equipo al cual se le pueden adaptar solamente dos tamices, éstos son de 25mm (1") y 12.5mm (1/2"). Consecuencia de esta limitación se produce piedra cuarta y una combinación de polvo de piedra con agregado grueso similar al tamaño de la piedra quinta.

En la **figura 13** se aprecia el esquema del proceso de producción de piedra cuarta y polvo de piedra. El material extraído del río es transportado hasta el quebrador primario el cual lo tritura a un tamaño nominal de 50 a 375mm dependiendo del ajuste. Este agregado es transportado por el Conveyor hacia la criba en donde el material retenido en el tamiz de 25mm (1") es llevado al quebrador secundario. El agregado que pasa el tamiz de 25mm (1") y se retiene en el de 12.5mm (1/2") es la piedra cuarta y por último el material que pasa la malla de 12.5mm (1/2") será polvo de piedra. En el quebrador secundario se reduce el agregado a un

Para obtener material de base el proceso es similar al de la piedra cuarta, pero eliminando la criba de la operación, y dejando pasar el material libremente para ser acumulado en un determinado lugar. Para producir arena se toma material de un banco de arena del río y se procesa a través de la criba, con únicamente la malla de 12.5mm (1/2").

Las **figuras 14, 15, 16 y 17** muestran la distribución actual del quebrador y sus equipos. La **figura 16** se muestra a escala en el **apéndice 2**. Como se observa en la **figura 18** la distancia que se recorre del río al sitio donde se ubica el quebrador primario es variable debido a las diversas opciones de sitios para extraer material. Esta distancia se estima que varía aproximadamente entre los 300 o 700 metros dependiendo del sitio donde se esté extrayendo material. El área total utilizable del plantel es de aproximadamente 11250 m², sin embargo existen zonas que se pueden adaptar para acumular material o construir caminos.



Figura 14. Distribución del los equipos trituradores y separadores del quebrador

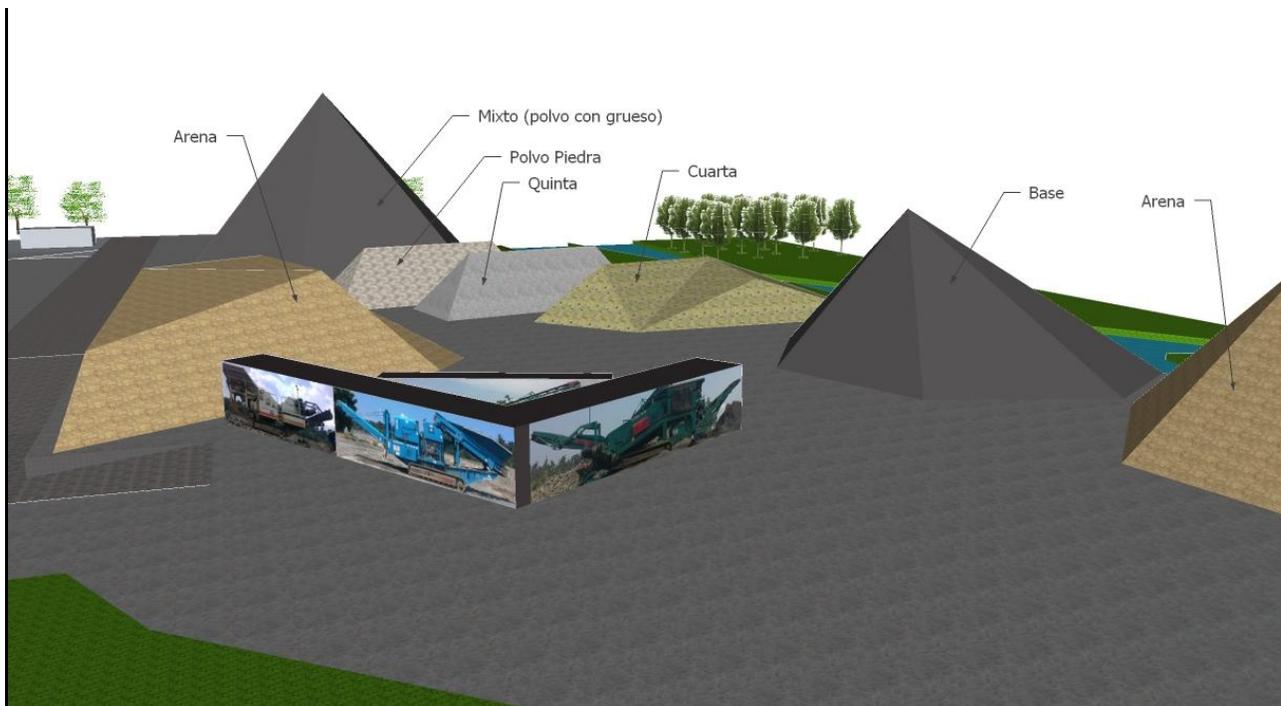


Figura 15. Esquema representativo de la distribución del quebrador.

Distribución Inicial del Sitio

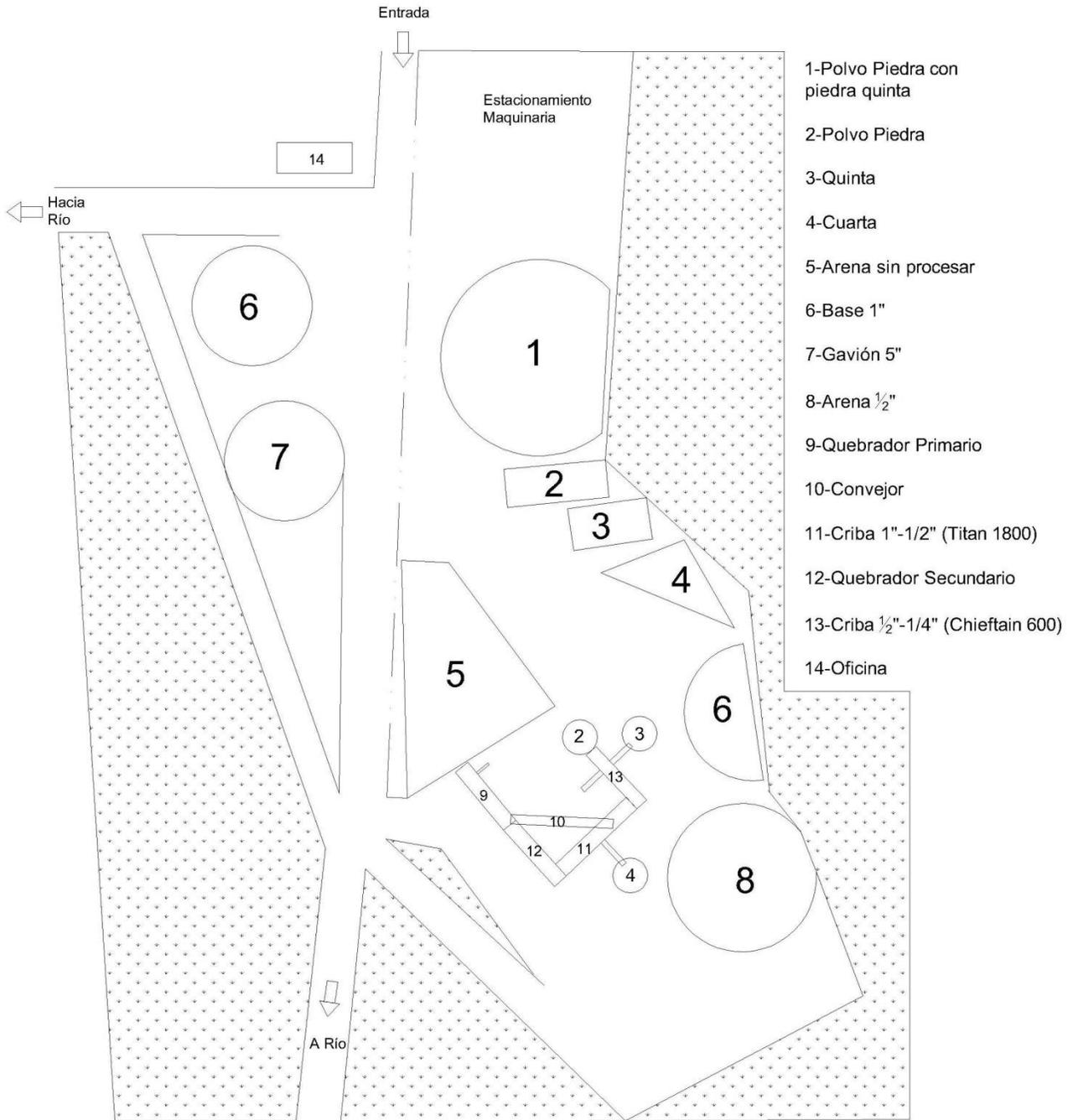


Figura 16. Distribución inicial del sitio (sin escala).



Figura 17. Distribución de agregados en el plantel.



Figura 18. Panorámica de la concesión.

En el **cuadro 14** se pueden observar los volúmenes aproximados de material acumulados al mes de octubre. Dichos valores varían constantemente según la producción y venta de los agregados.

CUADRO 14. VOLUMEN DE AGREGADOS ACUMULADO (m3)	
Polvo Piedra	300
Polvo y agregado grueso	3000
Arena 1/2"	1000
Piedra Cuarta	700
Arena (sin procesar)	2500

El material polvo de piedra, que contiene agregado grueso, se produce en gran cantidad y es difícil colocarlo en el mercado por la granulometría que tiene. De igual forma la arena gruesa o media no es aceptada por muchos clientes, lo que ha generado inventarios muy grandes de estos materiales, y esto reduce el espacio disponible para acumular otros materiales o permitir una mejor movilidad de la maquinaria. Otro aspecto que interviene en el proceso de producción es que para abastecer de combustible a los equipos se utiliza un tanque sostenido por una persona subida en el cucharón del cargador (figuras 19 y 20).



Figura 19. Método de abastecimiento de Combustible

El cargador eleva tanto al tanque como al trabajador y por medio de la gravedad el diesel descende mediante una manguera hasta llegar al tanque del respectivo equipo que se esté alimentando. Este proceso se realiza en aproximadamente 1.5 horas si se necesita recargar combustible en todos los equipos. Se observó además que existen ocasiones en las que por diferentes motivos no se puede adquirir rápidamente el combustible y esto genera tiempos muertos en los que hay gastos de posesión de maquinaria y mano de obra sin haber producción.



Figura 20. Método de abastecimiento de combustible.

En las visitas realizadas al quebrador, y según la información del personal que labora, se notó que los equipos sufren de continuos fallos, lo que genera grandes periodos sin poder reactivar la producción. En algunas ocasiones se inicia la jornada normalmente y en pocas horas se presenta alguna irregularidad en la maquinaria, por lo que deben paralizar toda la producción. Las figuras 21 y 22 muestran un ejemplo de la situación.



Figura 21. Cargador Descompuesto



Figura 22. Excavadora inhabilitada por descarrilamiento de su tren de rodaje.

Existe gran cantidad de material conocido como “sobre-tamaño”, el cual es material de tamaño nominal mayor a 60cm que no puede entrar en las “muelas” del triturador primario y es apartado del restante. Este material se acumula en grandes cantidades en las inmediaciones del lugar debido a que, por disposición del concesionario, lo deben extraer del río al igual que el material que sí se puede procesar.



Figura 23. Vista Superior de las "muelas" del quebrador primario.

Durante el periodo en el cual se realizó el trabajo, la Empresa adquirió una segunda criba (CHIEFTAIN 600), la cual cuenta con dos tamices de 12.5mm (1/2") y 6.25mm (1/4"). Con ayuda de este equipo se separa el polvo de piedra del agregado grueso para producir piedra quinta. Esta operación se realiza únicamente para el material nuevo producido y no para separar el gran stock (3000m3 aproximadamente) de polvo de piedra con agregado grueso que se tiene.



Figura 24. Criba CHIEFTAIN 600.

Se realizó una inspección de los tamices colocados para verificar su abertura y colocación, y se encontró un problema en las uniones del tamiz de 25mm (1") debido a que los tamices se traslapan se reduce la abertura de la malla y ello ocasiona una alta retención de material y disminuye el rendimiento de la criba. La **figura 25** evidencia el problema que ocurre en los tamices.



Figura 25. Traslape de tamices

Costo de Materiales Producidos

A diferencia de los apartados anteriores en los que se considera solamente la criba TITAN 1800, en el análisis de costos de materiales se incluye la criba CHIEFTAIN 600 (**figura 24**) y por consiguiente se calcula el costo de piedra quinta, material producido a partir de la adquisición de este equipo.

Un trabajo vital al determinar los costos de producción es establecer el rendimiento de maquinaria, porque el costo del material depende directamente del tiempo en el que fue producido y el costo de la maquinaria está en función del tiempo de operación. Para ello se contempló el tiempo del ciclo, es decir, la duración que tarda el camión articulado en ir a traer el material del río y regresar al plantel.

El rendimiento varía dependiendo de la distancia que se recorra o la localización del banco de extracción. El **cuadro 15** muestra los datos de la media y desviación estándar de las duraciones del ciclo y la duración de una excavadora cargando un camión articulado. Los valores de tiempo para cada proceso se encuentran en el **apéndice 4**. El tiempo de ciclo es el transcurrido al viajar el camión articulado en el hacia el río, cargar y regresar al plantel. Se presenta el tiempo de cargado por aparte para evidenciar las diferencias que pueden existir en el rendimiento del equipo al ser utilizado por diferentes operadores.

CUADRO 15. DURACIONES		
	Ciclo (min)	Carga (min)
Media	7.19	2.74
Desviación Estándar	0.93	0.87



Figura 26. Cargado de material en el río.

Se estima que la distancia del banco de extracción al río es de 400 metros aproximadamente; por lo que para esa distancia y considerando una capacidad del camión articulado de 14 m³ (capacidad teórica 15 m³) el rendimiento del proceso de extracción es de 116 m³/h y para el proceso de cargado 300 m³/h a partir de las duraciones medias calculadas.

Considerando que los datos recolectados presentan una distribución de frecuencia normal, se determinaron los intervalos de confianza mostrados en el **cuadro 16**, basados en una probabilidad del 95%.

CUADRO 16. INTERVALOS DE CONFIANZA	
CICLO (m ³ /h)	CARGA (m ³ /h)
112-121	277-342

Para determinar el rendimiento de las máquinas trituradoras y separadoras de material, las mediciones se realizaron de acuerdo al volumen transportado por el cargador en un determinado tiempo, es decir, conociendo el volumen aproximado que puede transportar el

cargador y la cantidad de viajes que realiza, se puede estimar el volumen de material producido en un tiempo t previamente definido. El **cuadro 17** presenta los datos de rendimiento para la piedra cuarta, piedra quinta, polvo de piedra y piedra base, así como los desechos producidos en el proceso.

El costo horario de maquinaria se encuentra en el **cuadro 18**. Este costo fue establecido de acuerdo al esquema de costos descrito en el Manual de Rendimientos de Caterpillar edición 34, la información presentada está basada en datos reales, según la base de datos de la empresa y recomendaciones realizadas por el ingeniero en mantenimiento de dicha compañía.

CUADRO 17. RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN	
Material	Rendimiento (m ³ /h)
Piedra quinta	20
Piedra cuarta	50
Polvo piedra	25
Piedra base	105-135
Sobro primario	10
Sobro 1/2"	10

En la determinación del rendimiento del cargador, se observó que el tiempo que tardaba en acomodarse el material era el mismo que duraban las máquinas trituradoras en procesarlo, por lo cual se estableció un rendimiento estimado de 115 m³/h.

De acuerdo con la información de rendimientos, se asignan porcentajes de uso de maquinaria a cada material para establecer qué proporción del costo horario es destinado a un determinado material. Este procedimiento se realiza debido a que en una hora de producción, y dependiendo del proceso, se producen diferentes materiales y no uno solo.

CUADRO 18. COSTO HORARIO DE MAQUINARIA									
Equipo	Cargador 950H	Cat 322CL	Cat 345	Quebrador Primario	Quebrador Secundario	Criba Titan 1800	Convejo	Articulada Cat D250	Criba Chieftain 600
Costo Depreciación	₡ 6,077	₡ 3,865	₡ 6,241	₡ 13,562	₡ 8,161	₡ 2,520	₡ 425	₡ 1,864	-
Intereses	₡ 5,057	₡ 3,235	₡ 5,227	₡ 8,569	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 1,977	-
Seguro	₡ 544	₡ 362	₡ 548	₡ 3,560	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 217	-
Impuesto Rodaje	₡ 2,950	₡ 2,613	₡ 5,249	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 1,140	-
Total Costos Posesion	₡ 14,627	₡ 10,075	₡ 17,264	₡ 25,691	₡ 8,161	₡ 2,520	₡ 425	₡ 5,198	₡ 1,473
Combustible	₡ 6,200	₡ 10,442	₡ 19,408	₡ 19,840	₡ 12,488	₡ 5,131	₡ 2,862	₡ 7,551	-
Elementos Especiales	₡ 517	₡ 517	₡ 517	₡ 517	₡ 517	₡ 517	₡ 517	₡ 517	-
Mantenimiento Correctivo	₡ 2,811	₡ 1,535	₡ 3,097	₡ 6,579	₡ 7,920	₡ 10,715	₡ 936	₡ 12,211	-
Elementos de rueda	₡ 417	₡ 1,489	₡ 2,606	₡ 1,241	₡ 1,241	₡ 1,241	₡ 13	₡ 691	-
Total Costos de Operación	₡ 9,944	₡ 13,983	₡ 25,628	₡ 28,177	₡ 22,166	₡ 17,604	₡ 4,327	₡ 20,970	₡ 10,966
Posecion y operación	₡ 24,571	₡ 24,057	₡ 42,893	₡ 53,868	₡ 30,327	₡ 20,125	₡ 4,753	₡ 26,168	₡ 12,439
Salario Operador	₡ 2,340	₡ 2,340	₡ 2,340	₡ 2,652	₡ 2,496	₡ 2,340	₡ 2,340	₡ 2,340	₡ 2,340
Costo Total	₡ 26,911	₡ 26,397	₡ 45,233	₡ 56,520	₡ 32,823	₡ 22,465	₡ 7,093	₡ 28,508	₡ 14,779

El detalle de cada una de las variables que se incluyen en el **cuadro 18** se pueden observar en el **apéndice 5**. El costo del salario del operador incluye cargas sociales.

Con los datos de rendimiento y costo horario de maquinaria establecidos, se calculó el costo por metro cúbico de material producido determinando los valores del **cuadro 19**.

CUADRO 19. COSTOS POR M ³ DE MATERIAL PRODUCIDO							
Actividad	Rendimiento (m ³ /h)	Costo Operación horario de maquinaria	Costo Pertenencia horario de maquinaria	Costo directo por m ³	CANON	Costos Administrativos	Costo Total por m ³
					\$ 2.00	10%	
Base 1.5"	115	₡ 123,731	₡ 73,826	₡ 1,718	₡ 1,032	₡ 275	₡ 3,024
Cuarta	50	₡ 66,088	₡ 33,567	₡ 1,993	₡ 1,032	₡ 302	₡ 3,327
Quinta	20	₡ 30,087	₡ 13,803	₡ 2,195	₡ 1,032	₡ 323	₡ 3,549
Polvo Piedra	25	₡ 38,474	₡ 17,775	₡ 2,250	₡ 1,032	₡ 328	₡ 3,610
Sobro 1/2"	10	₡ 15,294	₡ 7,175	₡ 2,247	₡ 1,032	₡ 328	₡ 3,606
Sobro primario	10	₡ 8,916	₡ 5,910	₡ 1,483	₡ 1,032	₡ 251	₡ 2,766

Análisis de resultados

Cabe destacar que los resultados de la caracterización de los materiales fueron realizados con base en muestras facilitadas por la empresa, es decir, no se realizó un proceso de muestreo por parte de personal capacitado para tal fin. Esta situación podría generar diferencias entre los resultados reales por poca representación de la muestra con respecto a la totalidad del material.

Según el **cuadro 10** los materiales que presentan mayor problema son la arena y el polvo de piedra. De acuerdo con el cumplimiento

del decreto 10854 del MEIC, el porcentaje máximo de material pasando el tamiz #200 no debe ser mayor de un 5% para el polvo de piedra y de un 4% para la arena. En relación con el **cuadro 5** la arena supera el límite especificado en 3.1% y el polvo de piedra en 2.7%.

Igualmente, la granulometría de ambos agregados finos, arena y polvo de piedra, presentan diferencias con respecto a las especificaciones de la norma, como se puede apreciar en las **figuras 27 y 28**.

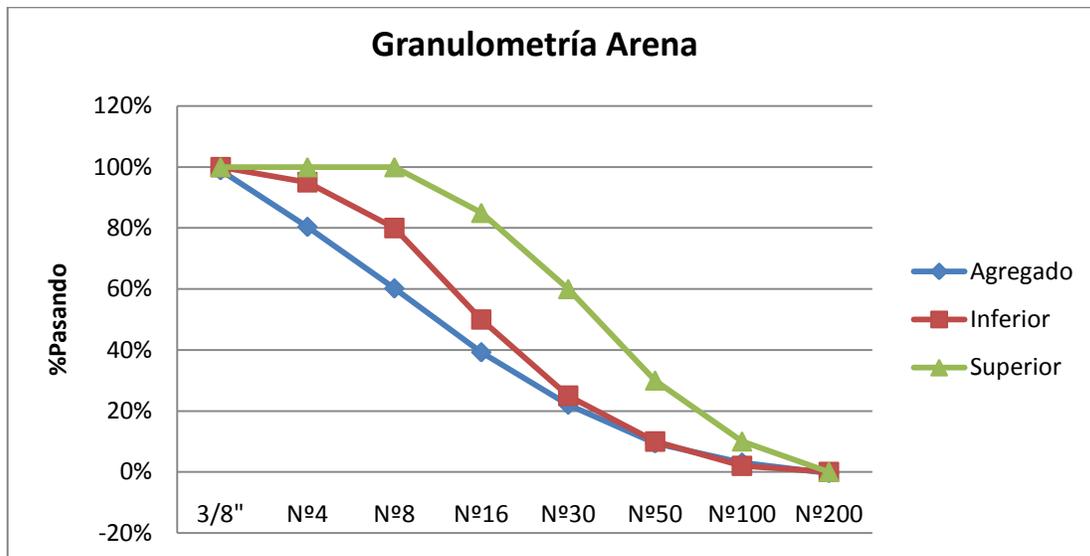


Figura 27. Granulometría Arena

En el **apéndice 1** se presenta el detalle de todas las pruebas realizadas para una mejor apreciación. Se puede notar que en los dos casos el problema es la presencia de partículas gruesas que se retienen en los tamices mayores al #50 lo cual disminuye el porcentaje de material pasando. De la misma forma esta presencia de partículas gruesas se puede percibir en los módulos de finura de ambos agregados (**cuadro 12**) los cuales son mayores a 3.1, siendo este

valor el límite superior para módulos de finura que establece el decreto 10854.

Con respecto a la granulometría de los agregados, las curvas granulométricas (**figuras 27 y 28**) reflejan la necesidad de una segunda criba que permita colocar un tamiz menor a 12.5mm (1/2") para reducir el tamaño máximo nominal de la arena y el polvo de piedra y de esta forma corregir la graduación del material. El polvo de piedra producido es un material con gran

cantidad de partículas gruesas retenidas en el tamiz #4 por lo que se puede concluir que es un agregado mixto que cuenta con agregado fino y

grueso, el cual podría ser separado para aprovechar ambos materiales.

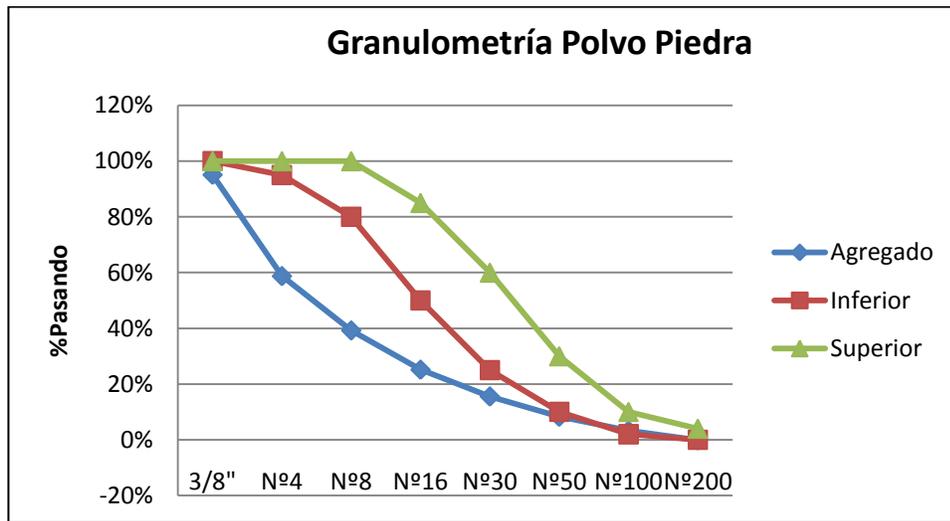


Figura 28. Granulometría Polvo de Piedra

Como se comentó en apartados anteriores, la empresa Constructora Navarro adquirió una segunda criba (CHIEFTAIN 600). Este equipo permite colocar dos tamices adicionales al proceso de 12.5mm (1/2") y 6.25mm (1/4"), con lo cual se obtiene como resultado la separación del agregado mixto en piedra quinta y polvo de piedra; este último a simple vista se nota con una granulometría más fina que el producido antes de la implementación del nuevo equipo. Esta modificación del proceso de producción reduce la granulometría de los agregados producidos, acercándolos a los límites granulométricos normados de agregados para concreto. No obstante, la granulometría de este nuevo polvo de piedra y arena producida no se comprobó en el laboratorio, por lo que no se tiene certeza si se logra cumplir con las especificaciones mencionadas en la norma 10854. La caracterización de estos agregados no se realizó debido a que la adquisición del nuevo equipo se produjo en un periodo cercano a la finalización de este trabajo. Al reducir la granulometría de la arena y el polvo de piedra se obtendrán materiales con un menor módulo de finura que posiblemente cumpla con el 3.1 máximo especificado en la norma.

En relación al peso específico y gravedad específica de los agregados estudiados, éstos se encuentran dentro de los valores normales en

comparación con los agregados típicos del país según los resultados de la investigación "Caracterización de los Agregados Nacionales", realizada por el CIVCO (Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción, ITCR) en el año 1994.

La prueba de comprobación de impurezas orgánicas (**cuadro 7**) demostró que los agregados finos se encuentran en el rango de aceptabilidad de este tipo de partículas al presentar un color más claro que el 2 (según tabla de colores), cuando la norma establece que el resultado debe ser más claro al color 3.

El análisis de costos presentado en el **cuadro 18** muestra el costo horario de maquinaria. Dicho costo se determinó considerando un periodo de aproximadamente once meses en gastos de mantenimiento registrados en la empresa, al dividirse el gasto total de este periodo entre el número de horas trabajadas por el equipo según horímetros. Este resultado puede diferir del real en un periodo de tiempo mayor, sin embargo, el valor obtenido se comparó con datos teóricos suministrados por el Ingeniero en Mantenimiento de la Empresa y el resultado fue similar por lo que el cálculo realizado se considera aceptable. Para calcular las horas anuales de uso estimadas se obtuvieron los valores registrados por los

horímetros de maquinaria para luego calcular un valor promedio de uso mensual.

El costo de materiales por metro cúbico del **cuadro 19** se estimó haciendo relaciones de uso de los equipos para cada material producido, es decir, se estableció una proporción del costo hora de maquinaria para cada material según el rendimiento de producción. Aunque el proceso de extracción posee un rendimiento en algunos casos mayor que el proceso de triturado y cribado, se asume un rendimiento similar de ambos procesos para considerar posibles variables en la ubicación del sitio de extracción en el río que aumenten la distancia recorrida y disminuyan el rendimiento de la extracción.

Según la investigación realizada, en la mayoría de procesos de producción de quebradores se cuenta con lo que es conocido como una criba húmeda, que consiste en una criba con tamices normales pero posee un sistema de aspersores que rocían agua sobre el material.



Figura 29. Equipo de Lavado

El agua lava las partículas finas del agregado para ser llevadas a un tanque de deposición en donde los sólidos se precipitan y se acumulan en el fondo del tanque mientras que el agua se reutiliza en el proceso. El exceso de partículas que pasa el tamiz #200 posiblemente es ocasionado por la falta de implementar el sistema antes mencionado en la producción. Se recomienda implementar un equipo que procese el polvo de piedra y arena obtenidos al final de la línea de producción en la criba Chieftain 600, cuya función sea la de separar las partículas más finas por medio de lavado, disolviendo las

mismas en el agua y separándolas del agregado fino para reducir el porcentaje de partículas más finas que el tamiz #200. En la **figura 29** se presenta un ejemplo de este tipo de equipo de lavado.

Como se observa en la **figura 19** El proceso de abastecimiento de combustible no es el adecuado debido a que pone en riesgo la seguridad de los trabajadores así como también incurre en gastos de operación del cargador y costos de mano de obra, ya que en el proceso de producción todas las máquinas se interrelacionan. Al tener inhabilitado un equipo para abastecerlo de combustible, se paralizan los demás, así como toda la mano de obra necesaria para operar las máquinas. Ante esta situación se recomienda proveer al personal del plantel de una bomba para combustible ya sea manual o eléctrica que permita suministrar combustible a los equipos sin necesidad del cargador para evitar la caída de algún trabajador y suprimir el costo de operación del cargador. En caso de ser una bomba eléctrica se propone adaptarla al sistema eléctrico del vehículo que transporta el combustible, además de realizar esta labor antes de que comience la jornada laboral, para evitar el costo de mano de obra que no puede laborar por falta de combustible en sus equipos.

En relación al proceso de producción existen varias situaciones que se pueden modificar para optimizar el proceso. Como se observa en la distribución inicial del quebrador (**ver apéndice 2**) la distribución actual ocasiona para el cargador grandes distancias de transporte del material. Por ejemplo, se puede observar que la piedra cuarta se encuentra en una posición opuesta a la faja transportadora de donde sale el material. Se podría modificar la ubicación del polvo de piedra y la piedra quinta para aumentar el rendimiento del cargador. Según el *Manual de Rendimientos de Caterpillar ed.34*, un sitio en donde el cargador no realice giros muy cerrados y se evite el cambio continuo entre avance posterior y reversa reduce el desgaste del equipo en variables como consumo de combustible y deterioro de los neumáticos lo cual permite reducir los costos de operación. Igualmente si se reduce la distancia de acarreo del camión articulado y se evita el tomar trayectos con grandes pendientes o curvas pronunciadas también se reduce el desgaste de los neumáticos y el consumo de combustible. Basándose en los factores antes expuestos se plantea una nueva

distribución del sitio (**figura 31**) que incluye la movilización de equipos y materiales. En la reubicación de materiales se consideró la cantidad de dichos materiales, es decir, se evitó el movilizar “stocks” de materiales de los cuales se tienen grandes volúmenes. Por ejemplo (en adelante, al hablar de los materiales se refiere a la numeración presentada en el esquema de distribución actual del quebrador de la **figura 30**), el agregado mixto (1), producido cuando no se poseía la criba CHIEFTAIN 600; es un agregado que tiene baja demanda en el mercado debido a su granulometría, situación similar ocurre con la arena de 1/2” (8); estos materiales se han ido acumulado hasta alcanzar grandes cantidades que limitan el espacio del plantel. El procedimiento propuesto para la movilización de materiales es el siguiente:

- Procesar el “stock” 5 (arena no procesada) para producir arena fina y gruesa acumulando este nuevo material junto a 8.
- Una vez procesado todo el stock 5, movilizar el “stock” de piedra cuarta (4) junto a la criba TITAN 1800 (15).
- Cambiar la posición de los equipos de forma que la banda de salida de cada material esté cercana al “stock” donde se acumula.
- De ser posible y aprovechando las condiciones de la estación seca, procesar el material (1) (agregado mixto) en la criba CHIEFTAIN 600.
- Cambiar la zona de producción de piedra base con el fin de independizarla de la producción de circuito de piedra cuarta, quinta y polvo piedra.

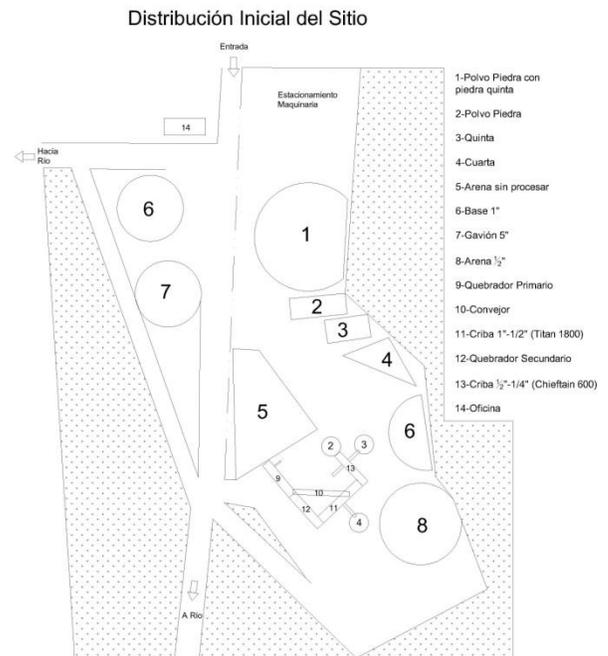


Figura 30. Distribución inicial (Ver apéndice 2)

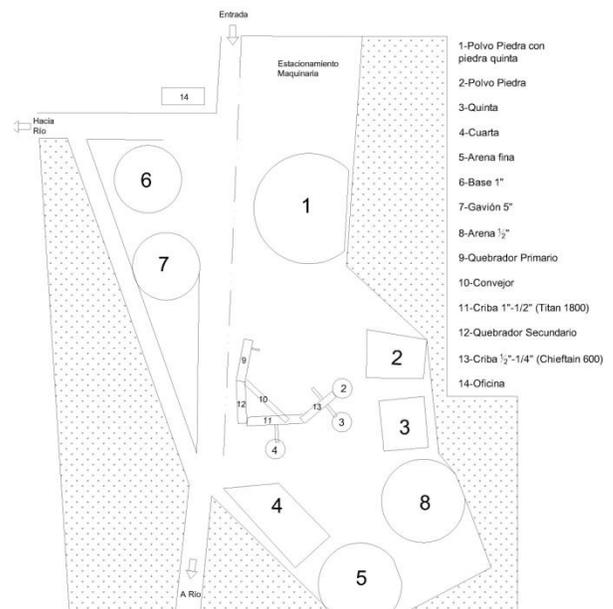


Figura 31. Propuesta de nueva distribución del sitio. (Ver apéndice 3)

Como se puede notar en el **cuadro 15** el costo horario de posesión de los equipos necesarios en un quebrador es muy alto. Este costo se genera por solo el hecho de poseer los equipos sin estar operando. Como se observó

durante las visitas al quebrador, existen ocasiones en las cuales hay atrasos en la adquisición del combustible y ello genera paralización de la maquinaria e incremento de los costos. Al haber una reserva de combustible que sea suficiente para operar los equipos durante no menos de media jornada, se evitaría la paralización de la producción y el aumento de costos debido al tiempo muerto (tiempo no productivo).

Como se mencionó anteriormente, en el proceso todos los equipos están interrelacionados; por lo que el éxito de la operación depende del adecuado funcionamiento de toda la maquinaria empleada. Por ello es de vital importancia crear un programa de mantenimiento de maquinaria que considere mantenimiento preventivo y predictivo, así como procedimientos eficaces de mantenimiento correctivo que garanticen el correcto funcionamiento de todos los equipos y reduzcan el tiempo de paralización de la producción. El mantenimiento preventivo y predictivo de la maquinaria se debe realizar fuera de la jornada laboral, en periodos de tiempo establecidos para no interrumpir la producción. Para lograr el éxito de esta labor se debe tener una excelente coordinación con el Departamento Financiero y el de Proveeduría y así garantizar el tener tanto el presupuesto como los repuestos necesarios en el momento que se requieran.

La Empresa cuenta con un martillo hidráulico que se adapta a la excavadora Cat322. Como consecuencia de la gran cantidad de material de sobre tamaño que se extrae del río, se recomienda trasladar este equipo al quebrador de Río Frío periódicamente para fraccionar el “sobre tamaño” que haya acumulado hasta el momento y poderlo procesar en el quebrador primario. Adicionalmente, es necesario calcular el rendimiento en campo de este equipo para evaluar la factibilidad de realizar esta operación, o bien simplemente desechar el material de “sobre tamaño”.

En la **figura 25** se observa un traslape de mallas en la unión de los tamices de la criba TITAN 1800. Esta unión es necesaria debido a que los tamices con los que se cuentan tienen una dimensión menor a la del equipo. Actualmente la unión se realiza con pernos que cuentan con arandelas que se sujetan a la estructura de cada tamiz, pero el perno es de menor dimensión que la abertura de la malla, por

lo que permite que un tamiz se deslice sobre el otro y bloquee la abertura del tamiz superpuesto (**figura 32**). Como consecuencia se reduce la abertura nominal del tamiz, se disminuye el rendimiento del equipo y se envía material innecesariamente a los equipos que proceden en la línea de producción por retener más material que en condiciones normales.



Figura 32. Esquema de la unión actual de tamices.

Colocando el perno junto con un dispositivo que se ajuste a la abertura del tamiz, se colocarían las aberturas exactamente una sobre otra solucionando el problema. La **figura 33** muestra una representación del dispositivo propuesto para luego colocar el perno y arandela de unión.

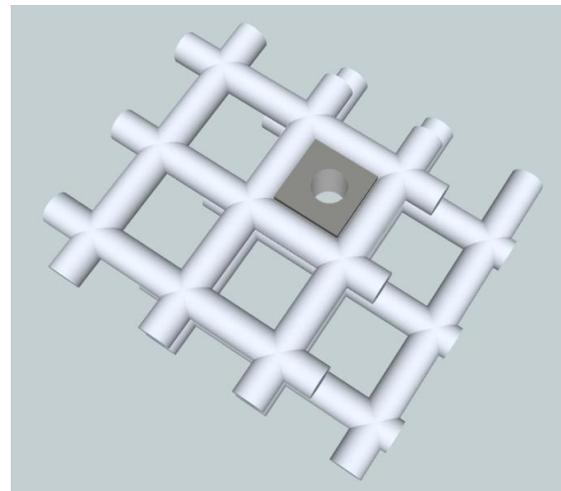


Figura 33. Ejemplo de la propuesta de unión de tamices

Se realizó una revisión de los recursos de equipo y personal para determinar cuáles son estrictamente necesarios en el proceso. Luego de varias visitas se llegó a la conclusión de que se debe contar con un mínimo de dos excavadoras CAT 322 o de capacidad similar, cada una con su respectivo operador. Una excavadora para extraer material del río y otra para alimentar el quebrador primario o bien, una excavadora que alimente el quebrador primario y otra que alimente la criba para producir arena fina. Todos los equipos trituradores y las cribas con los que se cuenta actualmente son indispensables para optimizar al máximo la producción. Se necesita un operador para controlar la alimentación del quebrador primario así como otro para el secundario. Para controlar las cribas y las fajas de salida de material se necesita un operario adicional. Según el criterio desarrollado mediante la observación del proceso se debe contar con un cargador cuya capacidad de cucharón sea de 3m³ para lograr un rendimiento adecuado y no esforzar el equipo. El uso de un cargador de menor capacidad ocasionaría obstrucción por acumulación de producto en la salida de material

de las cribas. Para transportar el material del río al plantel, un camión articulado con su respectivo operador es suficiente para proveer de materia prima a los equipos trituradores. El uso de dos camiones es innecesario puesto que los trituradores no tienen la capacidad de procesar al mismo tiempo el material extraído del río por dos camiones articulados al mismo tiempo. En total se debe contar con siete operadores de maquinaria, y un encargado general.

El mal funcionamiento de los equipos en algunos casos y su movilidad por parte de la empresa ocasionan limitaciones en el tipo de material que se produce, por ejemplo, si se descompone o se traslada a otro proyecto el quebrador secundario, no se podría producir piedra cuarta, piedra quinta y polvo de piedra. Producto de esta situación en el **cuadro 20** se menciona el procedimiento a seguir en caso de que no se disponga por diferentes motivos de algún equipo necesario. Esta sugerencia se realiza debido a que se observó que en algunos casos no se tenía claro el procedimiento a seguir o bien no se procedía con el más adecuado.

CUADRO 20. PROCEDIMIENTOS	
Situación	Solución
Ausencia de cargador	Dedicar operaciones a la producción de base, acumulando el material con el convejer
Se cuenta con solo una excavadora	Extraer una cantidad considerable de material del río, para luego colocar la excavadora en el alimentador del quebrador primario. El personal ajeno al proceso de extracción puede trabajar en el mantenimiento del equipo.
Ausencia de camión articulado D250	Para esta situación es muy importante manejar un stock de materia prima que permita producir materiales mientras se repara el equipo.
Ausencia de quebrador secundario	Extraer material del río. Quebrar piedra de 2-3" con el quebrador primario. En caso de no ser necesaria la extracción, producir arena fina y gruesa a partir de la cribas.
Ausencia de quebrador primario	Manejar un "stock" de piedra de 2-3" que permita la producción de piedra cuarta, quinta y polvo de piedra. Extraer material del río
Producción de base	Durante la producción de piedra base se puede producir paralelamente arena fina.
Ausencia de criba Titan 1800	Producir arena fina a partir de la criba Chieftain 600 y extraer material
Ausencia de criba Chieftain 600	Producir material para base y arena gruesa en caso de escasez. No producir piedra cuarta para evitar la acumulación de material mixto difícil de colocar en el mercado.

Las soluciones planteadas en el **cuadro 20** están basadas en los costos de operación de maquinaria y situaciones observadas en el campo. Por ejemplo, en caso de no contar con los tamices de 12.5mm y 6.25mm de la criba Chieftain 600, no se puede separar el polvo de piedra de la piedra quinta, y esto produce un agregado mixto que, una vez acumulado, adquiere gran cantidad de humedad, y se dificulta eventualmente separarlo una vez que se cuente con el equipo.

Conclusiones

1. La caracterización de los agregados demostró que la calidad de la materia prima es buena, al contener pocas impurezas orgánicas, aprobar exitosamente la prueba de abrasión y teniendo un peso unitario y gravedad específica normal.
2. Debido al proceso productivo y equipos utilizados, existen divergencias con las especificaciones establecidas en la normativa nacional de agregados para concreto.
3. El traslape de tamices produce una disminución en el rendimiento del equipo, por lo que es necesario la implementación de un dispositivo que permita realizar la unión sin que ocurra esta situación (ver **figura 33**).
4. La distribución actual del sitio limita los espacios de maniobra de maquinaria y aumenta las distancias recorridas por el cargador, incrementando los costos de producción.
5. El método de abastecimiento de combustible pone en riesgo la salud de los trabajadores y aumenta los tiempos muertos.
6. La falta de un programa de mantenimiento eficiente genera grandes periodos sin producir debido al mal funcionamiento de los equipos aumentando los costos de producción.
7. Para acarrear el material extraído al plantel no es necesario el uso de dos camiones articulados. Un camión funcionando correctamente provee la cantidad de material necesaria para aprovechar al máximo el rendimiento de los equipos quebradores.
8. Producir material sin la criba Chieftain 600, genera grandes volúmenes de material mixto que no es aprovechable y ocupa gran espacio en el plantel.
9. Procesando el material mixto en época seca en la criba Chieftain 600 se logrará su venta y se aumentará el espacio en el plantel.
10. El equipo necesario en el quebrador, aparte de la maquinaria de trituración y separación para optimizar el proceso de producción, es el siguiente:
 - 2 Excavadoras CAT 320 o similar.
 - 1 Camión articulado CAT D250 o similar.
 - 1 Cargador CAT 950H o similar.
11. En relación con las cargas de trabajo, se necesitan siete operadores de maquinaria y un encargado general para hacer eficiente el proceso de producción.

Recomendaciones

1. Debido a la implementación de la criba Chieftain 600, es recomendable realizar una caracterización de los materiales polvo de piedra, arena y piedra quinta, para verificar que cumplan con la normativa nacional referente a los agregados para concreto.
2. Se estima que el análisis de dichos materiales podría determinar que el contenido de partículas pasando la malla #200 será mayor que el especificado, por lo que es necesario adaptar al final de la línea de producción un equipo de lavado que separe las partículas más finas que el tamiz #200 del agregado fino restante, ya sea arena o polvo de piedra.
3. No producir piedra cuarta sin contar con la criba Chieftain 600 debido a que se encarece considerablemente el costo del material por la no venta del polvo de piedra con agregado grueso producido, además de que se limita el espacio del plantel por la gran cantidad de material acumulado.
4. El método de abastecimiento de combustible no es el más adecuado, por lo que se recomienda adquirir una bomba de combustible que permita cargar los equipos sin tener que utilizar el cargador y realizar esta labor antes de comenzar la jornada laboral.
5. Se recomienda construir en el plantel una zona donde se almacene el combustible de forma segura; esto para proveer a la operación de una reserva de combustible en caso de atraso en la adquisición del diesel.
6. Producto de la continua falla de los equipos se recomienda realizar un programa de mantenimiento de maquinaria que considere el establecimiento de periodos de producción y periodos de mantenimiento, sin coincidir uno con otro.
7. Realizar un estudio sobre el empleo del martillo hidráulico en la producción, para evaluar la factibilidad del mismo, de acuerdo con los rendimientos reales medidos en sitio, de forma tal que se pueda aprovechar todo el material que no puede ser procesado por el quebrador primario debido a sus dimensiones.
8. Realizar la caracterización del nuevo polvo de piedra y piedra quinta producidos para evaluar su calidad.
9. Realizar un programa de control de calidad para recolectar información y poder realizar proyecciones a futuro, así como también evaluar el correcto ajuste de los equipos y los nuevos materiales que puedan ir apareciendo en la excavación.
10. Implementar la distribución del sitio propuesta para facilitar la movilidad de los equipos en el plantel y reducir las distancias de acarreo.

Apéndices

Documentación incluida:

- Apéndice 1: Resultados de pruebas de Laboratorio.
- Apéndice 2: Distribución inicial del sitio.
- Apéndice 3: Nueva distribución propuesta del sitio.
- Apéndice 4: Duración del proceso de ciclo de extracción y cargado.
- Apéndice 5: Información detallada de Costos de maquinaria.
- Apéndice 6: Fotografías del Quebrador.

Apéndice 1. Pruebas de Laboratorio

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Informe de Resultados de Laboratorio para Proyecto de Graduación

Estudiante:

Erik Alberto Araya Vargas

Laboratorio:

Instalaciones CIVCO, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Procedencia de las muestras:

Tajo Las Flores del Chirripó, Constructora Navarro

Agregados Analizados:

Piedra Cuarta, Arena, Polvo Piedra, Piedra Base

Normas Empleadas:

- ASTM C136 Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos
- ASTM C117 Método de Prueba Estándar para Materiales Más fino que 75- μm (No. 200) por lavado.
- ASTM C29 Método de prueba estándar para la densidad aparente (Peso unitario) y Vacíos en agregados.
- ASTM C40 Método de Ensayo Normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.
- ASTM C131 Método de prueba estándar para resistencia a la degradación del agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles
- ASTM C127 Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados gruesos.
- ASTM C128 Método para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados finos.

Arena

Gravedad Específica

W Bandeja #40	431.71 g	
W picnómetro #10	171.12 g	
W pic lleno agua 21°C	670.24 g	B
W pic + muestra (sss)	692.34 g	
W muestra (sss)	521.22 g	S
W pic + muestra (sss)+agua	982.79 g	C
W muestra(sss)+agua	811.67 g	
Wseco + bandeja	924.73 g	
Wseco	493.02 g	A

Temperatura	densidad	factor
21	998.08	1.000461
23	997.62	

Temperatura	21	°C
W pic lleno agua 23°C	669.93	g
W pic lleno agua 21°C	670.24	g

Gbs	2.36
Gbss	2.50
Gs	2.73
Absorción	5.7 %

Peso Unitario

Wmolde	2631 g	
Wtotal1	6629 g	
Wtotal2	6685 g	
Wtotal3	6702 g	
Wmuestra1	4010 g	0.87%
Wmuestra2	4054 g	0.22%
Wmuestra3	4071 g	0.64%
Promedio	4045 g	
Vmolde #3	2815 cm ³	
Peso unitario	1.4 g/cm ³	
Peso unitario	1436.9 kg/m ³	

Granulometría

Wtotal (g)	521.15
Wbandeja#46 (g)	67.37
Wmuestra (g)	453.78
Wbandeja#201 (g)	73.29

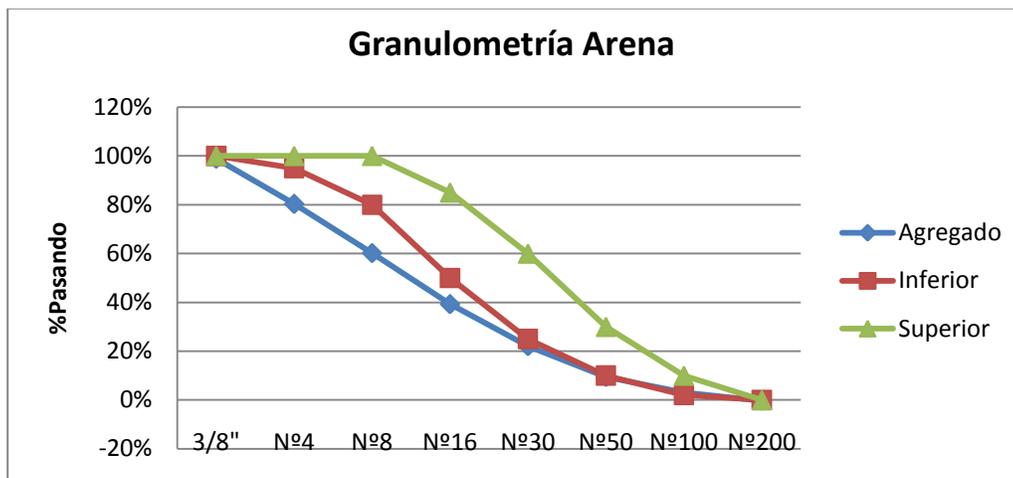
Malla	Peso total	Peso Retenido (g)	%retenido	%retenido Acumulado	%pasando	Especificación	
						Límite inferior	Límite Superior
3/8"	78.27	4.98	1%	1%	99%	100%	100%
Nº4	157.34	84.05	19%	20%	80%	95%	100%
Nº8	164.73	91.44	20%	40%	60%	80%	100%
Nº16	168.19	94.9	21%	61%	39%	50%	85%
Nº30	151.23	77.94	17%	78%	22%	25%	60%
Nº50	130.68	57.39	13%	91%	9%	10%	30%
Nº100	101.94	28.65	6%	97%	3%	2%	10%
Nº200	88.85	15.56	3%	100%	0%	-	-

454.91

error 0.25%

Wtotal (g)	525.63
Wseco (g)	487.7
Wseco lavado (g)	453.22
%w	7.2%
%pas 200	7.1%

Modulo Finura	4.39
---------------	------



Polvo Piedra

Gravedad Específica

W Bandeja #28	423.55 g	
W picnometro #6	172.39 g	
W pic lleno agua 20°C	670.38 g	B
W pic+muestra (sss)	675.47 g	
W muestra (sss)	503.08 g	S
W pic+muest(sss)+agua	982.34 g	C
W muest(sss)+agua	809.95 g	
Wseco + bandeja	908.47 g	
Wseco	484.92 g	A

Temperatura	densidad	factor
20	998.29	1.000672
23	997.62	

Temperatura	20	°C
W pic lleno agua 23°C	669.93	g
W pic lleno agua 20°C	670.38	g

Gbs	2.54
Gbss	2.63
Gs	2.80
Absorción	3.7 %

Peso Unitario

Wmolde	2631 g
Wtotal1	6941 g
Wtotal2	6928 g
Wtotal3	6940 g
Wmuestra1	4310 g
Wmuestra2	4297 g
Wmuestra3	4309 g
Promedio	4305.33 g
Vmolde	2815 cm ³
Peso unitario	1529.43 kg/cm ³

0.11%

0.19%

0.09%

Granulometría

Wtotal (g)	583.33
Wbandeja#19 (g)	65.47
Wmuestra (g)	517.86
Wbandeja#201 (g)	73.29

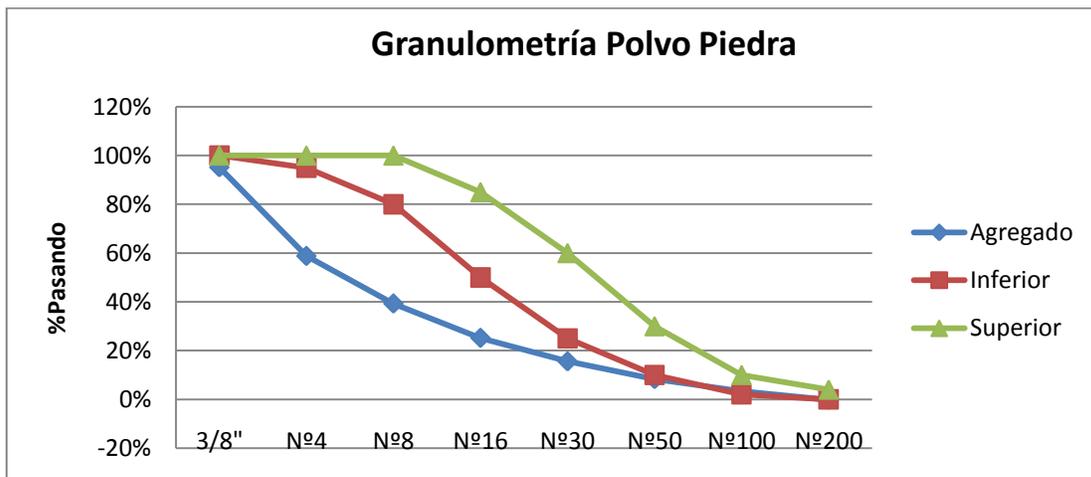
Malla	Peso total	Peso Retenido (g)	%retenido	%retenido Acumulado	%pasando	Especificación	
						Límite inferior	Límite Superior
3/8"	98.55	25.26	5%	5%	95%	100%	100%
Nº4	261.64	188.35	36%	41%	59%	95%	100%
Nº8	174.25	100.96	19%	61%	39%	80%	100%
Nº16	146.23	72.94	14%	75%	25%	50%	85%
Nº30	123.13	49.84	10%	84%	16%	25%	60%
Nº50	110.94	37.65	7%	92%	8%	10%	30%
Nº100	99.11	25.82	5%	97%	3%	2%	10%
Nº200	91.33	18.04	3%	100%	0%	0%	4%

518.86

error 0.18%

Wtotal (g)	586.16
Wseco (g)	560.87
Wseco lavado (g)	517.92
%w	4.3%
%pas 200	7.7%

Modulo Finura	4.55
---------------	------



Piedra Cuarta

Gravedad Específica

W canasta sumergida	1843 g	
W can+muest suerg	3959 g	
W muestra sumergida	2116 g	C
W Bandeja	1298 g	
Wsss + bandeja	4659 g	
Wsss	3361 g	B
Wseco+bandeja	4591 g	
Wseco	3293 g	A

Gbs	2.64
Gbss	2.70
Gs	2.80
Absorción	2.1 %

Peso Unitario

	Compactado		Suelto	
	W(g)	Error	W(g)	Error
Molde #6	9250	-	9250	-
Total1	32000	-	30500	-
Total2	31750	-	30500	-
Total3	32000	-	30750	-
Muestra1	22750	0.37%	21250	0.39%
Muestra2	22500	0.74%	21250	0.39%
Muestra3	22750	0.37%	21500	0.78%
Promedio	22667		21333	
Vmolde#6 (cm3)	14249		14249	
Peso Unitario (kg/m3)	1590.8		1497.2	

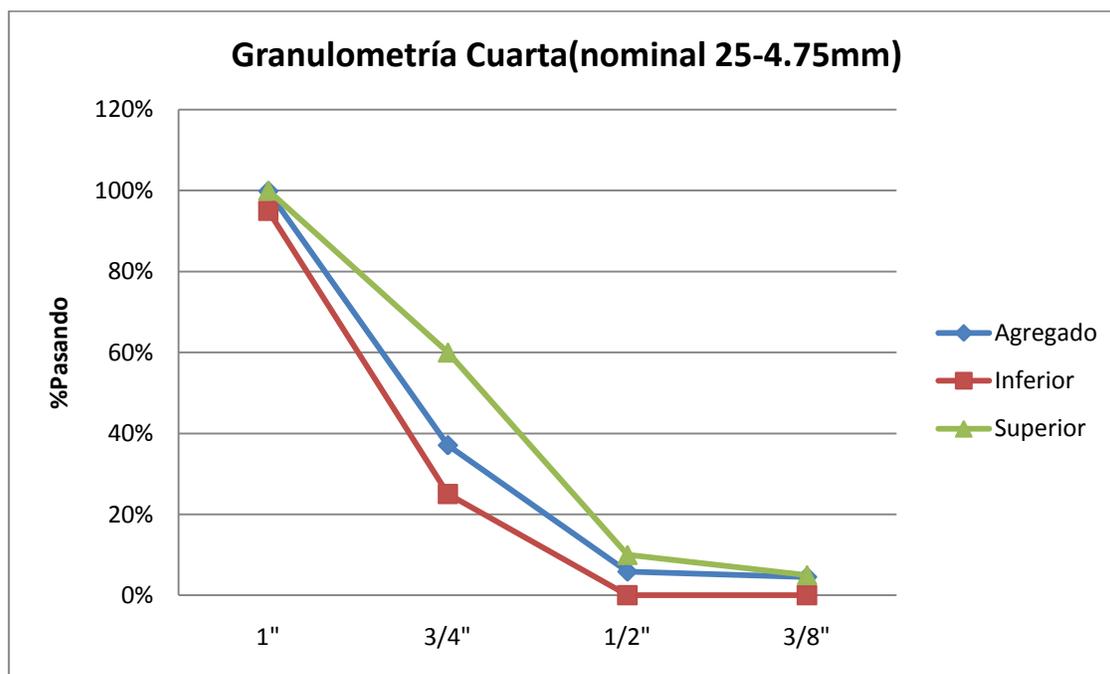
Granulometría Piedra Cuarta

Wtotal (g)	16010
Wbandeja#7 (g)	2543
Wmuestra (g)	13467
Wbandeja#1 (g)	1305

Malla	Peso total	Peso Retenido (g)	%retenido	%retenido acumulado	%pasando	Especificación	
						Límite inferior	Límite Superior
1"	1329	24	0%	0%	100%	95%	100%
1/2"	7851	8448	63%	63%	37%	25%	60%
Nº4	2625	4201	31%	94%	6%	0%	10%
Nº8	1483	178	1%	96%	4%	0%	5%

12851

Especificación para tamaño nominal 25-4.75mm



Abrasión

Método B	
3/4-1/2	2500±10g
1/2-3/8	2500±10g
total	5000±10g

W band #3 (g)= 1290

Muestra	#Bandeja	Wmuestra seca (g)	Wmuestra proce+band (g)	Wmuestra(g)	%perdida
3/4-1/2	202	2499.9	4903	3613	28%
1/2-3/8	203	2500.7			

5000.6

Apéndice 4. Duraciones

TIEMPOS DE CARGA Y CICLO		
#	Ciclo (min)	Carga (min)
1	7.63	3.20
2	7.65	3.50
3	6.92	3.08
4	7.60	3.17
5	8.62	4.62
6	7.68	4.15
7	8.60	4.70
8	7.43	3.43
9	7.95	3.57
10	8.85	4.50
11	8.60	4.12
12	9.45	3.83
13	6.42	1.83
14	7.93	2.80
15	7.23	2.67
16	6.30	1.60
17	5.55	1.83
18	6.37	2.23
19	5.95	1.83
20	6.62	2.13
21	6.40	2.40
22	7.73	2.50
23	6.48	2.38
24	6.90	1.87
25	6.82	1.83
26	6.80	1.92
27	7.33	2.25
28	6.25	2.08
29	6.33	2.17
30	6.67	2.33
31	9.03	3.50
32	6.70	2.50
33	7.10	2.37
34	6.52	2.13
35	6.13	2.18
36	6.40	2.27
37	7.02	2.05
38	7.37	2.53
Media	7.19	2.74
Desv Estandar	0.93	0.87
Rendimiento Medio (m3/h)	116.78	306.73

Apéndice 5. Detalle de costo de Maquinaria

Máquina	Cargador 950H	Cat 322 CL	Cat 345
Periodo estimado de Posesión (años)	7	7	7
Utilización estimada (horas/año)	2000	2000	2000
Tiempo de posesión (total de horas)	14000	14000	14000
Costo de Posesión			
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	\$258,000	\$161,000	\$260,000
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	₡133,386,000	₡83,237,000	₡134,420,000
b. Costo remplazo neumáticos (₡)	₡2,500,000		
c. Precio entrega menos valor neumáticos	₡130,886,000	₡83,237,000	₡134,420,000
Valor Residual al Reemplazo			
Valor Salvamento (VR)	₡45,810,100	₡29,132,950	₡47,047,000
Valor a Recobrar			
a. Valor neto a recobrar mediante el trabajo	₡85,075,900	₡54,104,050	₡87,373,000
b. Costo depreciación	₡6,077	₡3,865	₡6,241
Costo de Interés			
interés anual	\$19,563	\$12,514	\$20,220
interés	\$5,057	\$3,235	\$5,227
Seguro			
Anual	₡1,087,212	₡723,324	₡1,095,876
Si es conocido= (₡ por año/horas al año)	₡544	₡362	₡548
Impuestos (marchamo)			
Marchamo anual	₡5,899,716	₡5,226,985	₡10,497,065
(₡ por año/horas al año)	₡2,950	₡2,613	₡5,249
Costo Total Por hora Posesión	₡14,627	₡10,075	₡17,264
Costos de Operación			
Combustible			
Precio litro	₡496	₡496	₡496
Consumo (L/hr)	₡13	₡21	₡39
Total Combustible (₡/hr)	₡6,200	₡10,442	₡19,408
a. Neumáticos			
Costo Remplazo (₡)	₡2,500,000		
Duración Esperada (hrs) (según CAT)	₡6,000		
Total Neumáticos (₡/hr)	₡417		
b. Tren de Rodaje			
Total Tren de Rodaje	0	₡1,489	₡2,606
Costo de Reparaciones (por hora)	₡2,811	₡1,535	₡3,097
Elementos de desgaste especial: (costo/duración)	₡517	₡517	₡517
Costos totales de Operación	₡9,944	₡13,983	₡25,628
Posesión y Operación de la Máquina	₡24,571	₡24,057	₡42,893
Salario horario del Operador	₡1,500	₡1,500	₡1,500
Cargas Sociales	56%	56%	56%
Total Salario hora operador	₡2,340	₡2,340	₡2,340
Costo Total	₡26,911	₡26,397	₡45,233

Máquina	Primario	Cono	Criba
Periodo estimado de Posesión (años)	7	7	7
Utilización estimada (horas/año)	2000	2000	2000
Tiempo de posesión (total de horas)	14000	14000	14000
Costo de Posesión			
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	\$565,000	\$340,000	\$105,000
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	₡ 292,105,000	₡ 175,780,000	₡ 54,285,000
b. Costo remplazo neumáticos (₡)			
c. Precio entrega menos valor neumáticos	₡ 292,105,000	₡ 175,780,000	₡ 54,285,000
Valor Residual al Reemplazo			
Valor Salvamento (VR)	₡ 102,236,750	₡ 61,523,000	₡ 18,999,750
Valor a Recobrar			
a. Valor neto a recobrar mediante el trabajo	₡ 189,868,250	₡ 114,257,000	₡ 35,285,250
b. Costo depreciación	₡ 13,562	₡ 8,161	₡ 2,520
Costo de Interés			
interes anual	\$ 33,149	\$ 0	\$ 0
interés	\$ 8,569	\$ 0	\$ 0
Seguro			
Anual	₡ 7,119,090	₡ -	₡ -
Si es conocido= (₡ por año/horas al año)	₡ 3,560	₡ -	₡ -
Impuestos (marchamo)			
Marchamo anual	₡ -	₡ -	₡ -
(₡ por año/horas al año)	₡ -	₡ -	₡ -
Costo Total Por hora Posesión	₡ 25,691	₡ 8,161	₡ 2,520
Costos de Operación			
Combustible			
Precio litro	₡ 496	₡ 496	₡ 496
Consumo (L/hr)	₡ 40	₡ 25	₡ 10
Total Combustible (₡/hr)	₡ 19,840	₡ 12,488	₡ 5,131
a. Neumáticos			
Costo Remplazo (₡)			
Duración Esperada (hrs) (según CAT)			
Total Neumáticos (₡/hr)			
b. Tren de Rodaje			
Total Tren de Rodaje	₡ 1,241	₡ 1,241	₡ 1,241
Costo de Reparaciones (por hora)	₡ 6,579	₡ 7,920	₡ 10,715
Elementos de desgaste especial: (costo/duraci	₡ 517	₡ 517	₡ 517
Costos totales de Operación	₡ 28,177	₡ 22,166	₡ 17,604
Posesión y Operación de la Máquina	₡ 53,868	₡ 30,327	₡ 20,125
Salario horario del Operador	₡ 1,700	₡ 1,600	₡ 1,500
Cargas Sociales	56%	56%	56%
Total Salario hora operador	₡ 2,652	₡ 2,496	₡ 2,340
Costo Total	₡ 56,520	₡ 32,823	₡ 22,465

Máquina	Convejer	Articulada D250	Criba 2
Periodo estimado de Posesión (años)	7	7	
Utilización estimada (horas/año)	2000	2000	
Tiempo de posesión (total de horas)	14000	14000	
Costo de Posesión			
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	\$18,000	\$85,000	
a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)	\$9,306,000	\$43,945,000	
b. Costo replazo neumáticos (₡)	\$150,000	\$3,800,000	
c. Precio entrega menos valor neumáticos	\$9,156,000	\$40,145,000	
Valor Residual al Reemplazo			
Valor Salvamento (VR)	₡ 3,204,600	₡ 14,050,750	
Valor a Recobrar			
a. Valor neto a recobrar mediante el trabajo	₡ 5,951,400	₡ 26,094,250	
b. Costo depreciacion	₡ 425	₡ 1,864	
Costo de Interés			
interes anual	\$ 0	₡ 7,648	
interés	\$ 0	₡ 1,977	
Seguro			
Anual	₡ -	₡ 434,796	
Si es conocido= (₡ por año/horas al año)	₡ -	₡ 217	
Impuestos (marchamo)			
Marchamo anual	₡ -	₡ 2,279,437	
(₡ por año/horas al año)	₡ -	₡ 1,140	
Costo Total Por hora Posesión	₡ 425	₡ 5,198	₡ 1,473
Costos de Operación			
Combustible			
Precio litro	₡ 496	₡ 496	
Consumo (L/hr)	₡ 6	₡ 15	
Total Combustible (₡/hr)	₡ 2,862	₡ 7,551	
a. Neumáticos			
Costo Replazo (₡)	₡ 150,000	₡ 3,800,000	
Duración Esperada (hrs) (según CAT)	₡ 12,000	₡ 5,500	
Total Neumáticos (₡/hr)	₡ 13	₡ 691	
b. Tren de Rodaje			
Total Tren de Rodaje	0	0	
Costo de Reparaciones (por hora)	₡ 936	₡ 12,211	
Elementos de desgaste especial: (costo/duraci	₡ 517	₡ 517	
Costos totales de Operación	₡ 4,327	₡ 20,970	₡ 10,966
Posesión y Operación de la Máquina	₡ 4,753	₡ 26,168	₡ 12,439
Salario horario del Operador	₡ 1,500	₡ 1,500	₡ 1,500
Cargas Sociales	56%	56%	56%
Total Salario hora operador	₡ 2,340	₡ 2,340	₡ 2,340
Costo Total	₡ 7,093	₡ 28,508	₡ 14,779

Apéndice 6. Fotografías Quebrador “Las flores del Chirripó”



Figura a. Plantel de la empresa (2010)



Figura b. Material de “sobre tamaño”



Figura c. Criba TITAN 1800.



Figura d. Tamiz 25mm 1” Criba TITAN 1800



Figura e. Vista Plantel y río desde lado Este



Figura f. Vista Plantel desde lado Oeste



Figura g. Imagen panorámica del sitio

Anexos



Criba húmeda empresa H&M



Equipo de lavado (debajo de la criba húmeda)

Imágenes gracias a la empresa H&M la cual se dedica a la producción de agregados en la Zona Norte. (2010)

Referencias

- Ramírez, A. (1994). *CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS NACIONALES: Región central del país. CIVCO*. Costa Rica. No. 010
- Ramírez, A. (1994). *CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS NACIONALES: Resto del país. CIVCO*. Costa Rica. No. 011
- Acuña, J. (2002). *CONTROL DE CALIDAD: UN ENFOQUE INTEGRAL Y ESTADÍSTICO*. 3ª ed. Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- ASTM. "Resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine". C-131.
- ASTM. "Sieve analysis of fine and coarse aggregates". C-136.
- ASTM. "Specific gravity and absorption of fine aggregate". C-128.
- ASTM. "Organic impurities in fine aggregates for concrete". C-40.
- ASTM. "Specific gravity and absorption of coarse aggregate". C-127.
- ASTM. "Unit weight and voids in aggregate". C-29.
- Ministerio de Economía Industria y Comercio. (1980). *NORMA OFICIAL DE ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS PARA CONCRETO*. Imprenta Nacional. San José.
- Caterpillar Inc. (2000), *MANUAL DE RENDIMIENTO DE MAQUINARIA*. Ed.34. EE. UU.