

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



**RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS CON EL  
USO DE CHANCADORAS SECUNDARIAS MODELO DE CONO**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**MARCO ANTONIO RIOS MORALES**

**Lima- Perú**

**2010**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **AGRADECIMIENTOS**

A las autoridades representantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Al Dr. Víctor Sánchez Moya. Y a los Ingenieros Luis Díaz Imiela-Gentimur, Edward Santa María Dávila y Jorge Guillen Flores, por consolidar el convenio de investigación UNI-GyM, acercándose de esta manera el vínculo Universidad-Empresa, que trae notable desarrollo y contribución para la ciencia y tecnología del país.

Al Dr. Juan Guillermo Ríos Segura, quien gracias a su asesoría se desarrolló esta investigación. Y a todos los docentes de la facultad de Ingeniería Civil, que gracias a su vocación y dedicación en la enseñanza, pude complementar mi formación en los conocimientos que todo Ingeniero civil debe poseer.

Al Doctor Teófilo Vargas Saavedra por su desprendimiento y apoyo a la investigación, ya que gracias a sus consejos y seminarios brindados, se pudo concretar la formación de investigadores, mediante una visión más sensible del quehacer científico en la Ingeniería Civil.

A todos los alumnos, docentes y trabajadores de la UNI ya que por su ardua labor se mantiene el prestigio de esta casa superior de estudios, que marcan la vida de todas aquellas personas que se asoman al mundo del saber científico que se vive en la UNI.

*A Dios, por haberme dado la dicha de tener una familia maravillosa y conocer grandes y buenos amigos a lo largo de mi vida.*

*A mis padres: Andrés y Candelaria, por darme su inmenso amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.*

*A mis hermanos: María, Richard, Bertha, Wilver, Vanessa y mis tíos Laureano y Dionisia por brindarme todo el apoyo necesario en mi época de estudiante.*

**INDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	5
<b>LISTA DE FOTOS</b> .....	6
<b>LISTA DE ECUACIONES</b> .....	7
<b>INTRODUCCION</b> .....	8
<b>CAPITULO 1 - CONSIDERACIONES GENERALES</b> .....	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	12
1.3 OBJETIVOS .....	13
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.4 METODOLOGIA Y ESTRUCTURA DE TRABAJO.....	13
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	15
<b>CAPITULO 2 – ASPECTOS TEÓRICOS</b> .....	16
2.1 DEFINICION Y PRODUCCION DE AGREGADOS.....	16
2.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE AGREGADOS PARA DIFERENTES OBRAS .....	17
2.3 TIPOS DE PLANTA Y EQUIPOS QUE CONFORMAN LA PLANTA DE AGREGADOS .....	22
2.4 CONCEPTOS GEOTECNICOS Y MECÁNICOS USADOS EN PLANTAS DE AGREGADOS .....	29
2.5 SIMULACION DE PROCESOS EN CONSTRUCCION MEDIANTE REDES SECUENCIALES-CYCLONE .....	34
<b>CAPITULO 3 - ESCENARIO DEL ESTUDIO Y CONDICIONES DE TRABAJO CON ELEQUIPO DE CHANCADO</b> .....	38
3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO .....	38
3.2 MODELO Y TIPO DE CHANCADORA ANALIZADA .....	39
3.3 UNIDADES DE PRODUCCION QUE PARTICIPAN EN PLANTA CHANCADORA .....	43
3.4 RENDIMIENTO DE PRODUCCION REAL Y ESTIMADA POR EL FABRICANTE DE LA CHANCADORA .....	47
3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL CHANCADO .....	49

3.6 CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS EN PLANTA.....	63
3.7 CONTROL DE LA SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE LA PLANTA CHANCADORA .....	64
3.8 CONTROL MEDIOAMBIENTAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN PLANTA DE AGREGADOS .....	69
<b>CAPITULO 4 – DISEÑO Y RESULTADO DE EXPERIMENTOS CON LOS DATOS DE PRODUCCION MEDIDOS EN CAMPO ...</b>	<b>70</b>
4.1 SIMULACION DEL PROCESO DE CHANCADO MEDIANTE DIAGRAMAS EN RED POR EL METODO CYCLONE .....	70
4.2 CANTIDAD DE AGREGADOS PRODUCIDOS EN VOLUMEN Y PESO CON CHANCADORA SECUNDARIA DE CONO .....	74
4.3 RENDIMIENTOS REALES VS ESTIMADOS POR EL FABRICANTE DE CHANCADORA SECUNDARIA NW200HPS.....	79
4.4 PARAMETRIZACION LINEAL DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN EL RENDIMIENTO DE CHANCADO .....	82
4.5 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS REALES DE PRODUCCION TOTAL MEDIANTE PARAMETRIZACION LINEAL DE LOS FACTORES INFLUYENTES .....	85
4.6 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS DE PRODUCCION POR TAMAÑO DE AGREGADOS .....	86
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## RESUMEN

En los últimos años la industria de la construcción, ha crecido extraordinariamente en los diversos rubros, creando gran demanda por el consumo de agregados que se encuentran en las principales fuentes aprovechables como canteras de ríos, cerro, etc. Agregados que son utilizados en distintas aplicaciones, ya sea como producto final o como materia prima para la creación de otros materiales compuestos.

Si bien las fuentes naturales de agregados, ofrecen materiales rocosos que pueden ser utilizados en obras de Ingeniería, no siempre cumplen los requisitos necesarios para su uso, por presentarse en grandes tamaños, además de no cumplir con un mínimo de angulosidad requerida para garantizar la adherencia con mezclas aglomerantes. Sin embargo el avance tecnológico ha dado posible reducir el tamaño de las rocas naturales hasta un tamaño deseable, mediante métodos de trituración y zarandeo, dándoles la angulosidad necesaria. En la actualidad, existen diversos equipos de chancado y trituración, conocidos en nuestro medio como chancadoras.

Las chancadoras (trituradoras o machaqueadoras en otros términos) son máquinas que permiten reducir el tamaño de los agregados hasta un tamaño máximo deseable.

El reto que supone trabajar con estos equipos, para la mayoría de contratistas de obras, es poder determinar la capacidad productiva de estas máquinas, para programar el uso adecuado de estas, ya que constituye el presupuesto más alto en la etapa de producción de agregados por métodos de trituración y zarandeo.

Los fabricantes de los equipos de chancado, ofrecen rendimientos comerciales de producción. Que sin embargo no son alcanzados en la práctica, debido a diversos factores que condicionan el rendimiento real en las plantas concentradoras de agregados.

Conocer y cuantificar el efecto de estos factores en el rendimiento del equipo de chancado, es el principal motivo para llevar a cabo el presente trabajo, donde se evalúa el efecto de 5 factores notables que han sido estudiados analíticamente en los trabajos de campo. De esta manera se ofrece un argumento práctico para estimar el rendimiento de producción del equipo de chancado propuesto, dejando la metodología para ser aplicado a otros modelos de chancadoras con las implementaciones necesarias.

LISTA DE FIGURAS	Pagina
Fig. 1 .1 Costo de producción de equipos sin considerar mano de obra para obtener 1m <sup>3</sup> de agregado	11
Fig. 2.1 Esquema del ciclo de vida de los agregados	16
Fig. 2.3 Esquema del uso de agregados en obras civiles	19
Fig. 2.4 Análisis de canteras, previos a la etapa de chancado y separación de agregados	20
Fig .2. 5 Esquema secuencial de los análisis a considerar durante la etapa de procesamiento y despacho de material producido	21
Fig.2. 6 Esquema de la cámara interior de una chancadora de mandíbula	24
Fig.2.7 Esquema de cámara interior de una chancadora de cono	25
Fig.2. 8 Esquema de cámara interior de una chancadora de impacto	25
Fig. 2.9 Zaranda mecánica de inclinación simple	27
Fig. 2.10 Zaranda mecánica de doble inclinación	27
Fig. 2.11 Zaranda mecánica de inclinación triple	28
Fig.2.12 Zaranda mecánica de inclinación múltiple tipo Banana Screen	28
Fig. 2.13 Curva granulométrica representativa de la tabla n°3	31
Fig.2.14 Esquema jerárquico de la gestión en construcción	36
Fig.3.1 Esquema de la planta móvil de trituración y zarandeo	39
Fig.3.2 Esquema interior de ajuste del reglaje según tamaño requerido de material	41
Fig.3.3 Vista de los tres niveles de malla de la zaranda vibratoria tipo Banana	42
Fig.3.4 Vista del montaje de operación de la planta trituradora portátil según fabricante	42
Fig.3.5 Vista del montaje para el transporte de la planta trituradora portátil según fabricante	43
Fig.3.6 Curvas granulométricas del material producido en función de las aberturas de salida	49
Fig.3.7 Ajuste hidráulico de las aberturas de entrada y salida de material	53
Fig.3.8 Configuración estructural de alimentación del molino de cono (planta Km 276+350)	55
Fig.3.9 Configuración estructural de alimentación del molino de cono (planta Km 338+700)	56
Fig.3.10 Esquema de trabajo de las unidades de producción en planta chancadora (Km 270+350)	57
Fig.3.11 Esquema de trabajo de las unidades de producción en planta chancadora (Km 338+700)	58
Fig.4.1 Esquema gráfico secuenciado del flujo de equipos en planta chancadora (Km 338+700)	71
Fig.4.2 Diagrama de red CYCLONE de la interacción de los recursos que participan en planta la planta de agregados Km 338+700	72

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>Página</b>
Tabla 2.1 Clasificación de chancadoras según aberturas	29
Tabla 2.2 Clasificación de suelos según el tamaño de sus partículas	30
Tabla 2.3 Análisis granulométrico por pesos de una muestra de suelos	30
Tabla 2.4 Características de las esferas introducidas en el tambor del ensayo los Angeles	33
Tabla 2.5 Principales símbolos del modelo CYCLONE	37
Tabla 3.1 Sectores correspondientes al corredor vial Interoceánica Sur Tramo I	38
Tabla 3.2 Selección del tipo de forro en la cámara de chancado según reglaje	40
Tabla 3.3 Dimensiones recomendadas por el fabricante para el montaje y transporte	43
Tabla 3.4 Producción teórica en T/h en función de la abertura de salida del molino de	47
Tabla 3.5 Análisis granulométrico del material producido en función de las aberturas de salida	48
Tabla 3.6 Fijación de la vibración sobre las mallas según posición angular respecto a la vertical	55
Tabla 3.7 Análisis granulométrico del material de ingreso	59
Tabla 3.8 Relación de variación del rendimiento con los factores influyentes	62
Tabla 3.9 Valoración de los riesgos presentes en las actividades realizadas en planta chancadora	65
Tabla 3.10 Matriz de prevención de riesgos laborales en planta chancadora	68
Tabla 4.1 Matriz de identificación de impactos medioambientales en zona planta de agregados	69
Tabla 4.2 Resumen de la producción registrada del 10 Junio al 25 Junio 2009 Planta Km 276+350	76
Tabla 4.3 Resumen de la producción registrada del 27 Junio al 17 Julio 2009 Planta Km 276+350	77
Tabla 4.4 Diagrama de aprovechamiento porcentual, del material triturado en Planta Km 276+350	78
Tabla 4.5 Resumen de la producción registrada del 20 Mayo al 03 Junio 2009 Planta Km 338+700	78
Tabla 4.6 Resumen de la producción registrada del 10 Junio al 25 Junio 2009 Planta Km 338+700	79
Tabla 4.7 Diagrama de aprovechamiento porcentual, del material triturado en Planta Km 338+700	79
Tabla 4.8 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 10 Junio al 25 Junio 2009	81
Tabla 4.9 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 27 Junio al 17 Julio 2009	81
Tabla 4.10 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 20 Mayo al 03 Junio 2009	82
Tabla 4.11 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 10 Junio al 25 Junio 2009	82
Tabla 4.12 Resumen de interacción entre los valores de factores influyentes con el rendimiento de producción de agregados	85
Tabla 4.13 Cuadro de valores normalizados de factores influyentes vs rendimientos obtenidos	86



<b>LISTA DE FOTOS</b>	<b>Página</b>
Foto 2.1 Producción artificial de agregados en plantas concentradoras	17
Foto 2.2 Zaranda estática de parrilla	26
Foto 2.3 Faja transportadora de agregados	29
Foto 2.4 Tambor del ensayo los ángeles	32
Foto 3.1 Esquema del montaje de planta móvil de trituración y zarandeo	39
Foto 3.2 Unidad de material - Material integral extraído de río	44
Foto 3.3 Unidad de extracción – Excavadora hidráulica	44
Foto 3.4 Unidad de alimentación - Cargador frontal	45
Foto 3.5 Unidad de clasificación-Mallas de la zaranda vibratoria	45
Foto 3.6 Unidad de transporte-Camión volquete	46
Foto 3.7 Unidad de almacenamiento-zona de acopio de material procesado	46
Foto 3.8 Unidad de energía-grupo electrógeno de la planta chancadora	47
Foto 3.9 Características visuales de material de cerro, presenta alta cantidad de finos	50
Foto 3.10 Características visuales de material de río-Limpio y de consistencia dura	50
Foto 3.11 Incremento de humedad inducida por el lavado, para eliminar los finos	52
Foto 3.12 Ajuste de mallas con pernos de fijación en los extremos de zaranda vibratoria	54
Foto 3.13 Contrapeso de vibración de zaranda vibratoria	54
Foto 3.14 Saturación de mallas por presencia de humedad con finos	61

LISTA DE ECUACIONES	Página
Ecuación 4.1 Cálculo del rendimiento de producción diario por tamaño de agregado	80
Ecuación 4.2 Cálculo del rendimiento promedio de producción de una serie de registros	80
Ecuación 4.3 Cálculo del promedio aritmético de una serie de "N" datos	80
Ecuación 4.4 Cálculo de la Varianza de "n" datos de una muestra	80
Ecuación 4.5 Cálculo de la Desviación estándar de "n" datos de una muestra	80
Ecuación 4.6 Función rendimiento normalizado vs factores influyentes	86
Ecuación 4.7 Fórmula paramétrica para el cálculo del rendimiento promedio de producción normalizado vs factores influyentes	87
Ecuación 4.8 Condición de los pesos de los factores normalizados	87
Ecuación 4.9 Rendimiento de producción estimado en t/h, según tamaño de agregado	87
Ecuación 4.10 Rendimiento promedio de producción estimado para el tamaño "Øi" del agregado en el escenario "j" en toneladas por hora.	87

## INTRODUCCION

El desarrollo del presente trabajo pretende dar una aplicación práctica a la hora de estimar el rendimiento de producción que se obtendrá con el equipo de chancado NW200HPS (Chancadora secundaria modelo de cono) cuando se quiera obtener agregados menores a  $\frac{1}{2}$ " de tamaño máximo. Basado principalmente en comparaciones estadísticas se obtiene una fórmula matemática la cual interrelaciona a los principales factores que influyen en el rendimiento del equipo de chancado.

La metodología que se plantea para hacer el seguimiento a la aplicación de la fórmula es mediante la siguiente estructura:

El primer capítulo plantea los aspectos generales relacionados a los trabajos de chancado y trituración de agregados, los objetivos buscados con esta investigación y la metodología de medición desarrollada en planta y así poder identificar los posibles factores que afectan el rendimiento de producción de los agregados utilizando el equipo de chancado estudiado.

En el segundo capítulo, se muestran los aspectos teóricos considerados para esta investigación, tales como producción y consumo actual de agregados en diferentes obras. Tipos y modelos de plantas chancadoras y los componentes y/o equipos que lo conforman, criterios de productividad y calidad en construcción, herramientas de simulación de procesos en construcción mediante redes secuenciales (CYCLONE) que permita describir gráficamente la interacción de las unidades de producción en los trabajos involucrados en el proceso de chancado, así como conceptos mecánicos y geotécnicos que se relacionan con la investigación para comprender el efecto de ciertos parámetros que fijan el rendimiento del chancado, concepto de control de la calidad del agregado que se obtiene en función a la granulometría requerida.

En el tercer capítulo, se presenta el escenario donde se hicieron las mediciones para esta investigación, dando énfasis en la identificación de los factores que influyen en el rendimiento de producción de agregados en las plantas analizadas.

Los cuales según los datos experimentales son: Disponibilidad granulométrica, Contenido de Humedad y finos del agregado de entrada, número de alimentadores de la zaranda vibratoria al molino de cono, grado de desgaste del material integral mediante el ensayo de los Ángeles y el nivel de vibración de la zaranda vibratoria. Considerando para ello, cada unidad de producción, las cuales son las partes que componen el proceso de trituración para obtener agregados de diversos tamaños, según se requiera en las obras. Los controles de calidad de los materiales

procesados, consideraciones de seguridad y medioambiental para los trabajos realizados en la zona.

En el cuarto y último capítulo, se presenta la simulación del proceso de chancado mediante redes secuenciales (CYCLONE) para describir los puntos más críticos de espera relacionados al proceso de chancado. Se llevan a cabo los diseños de los datos obtenidos en campo, con el fin de estimar el rendimiento del chancado, conociendo el valor de los factores que fijan el rendimiento del equipo de chancado, indicados en el capítulo 3. Factores que son calculados en base a los datos experimentales recogidos en campo, y que afectan al rendimiento esperado proporcionado por el fabricante. Permitiendo de este modo estimar el rendimiento promedio de producción esperado, conociendo el valor de los factores influyentes. Si bien esta información se focaliza en el modelo de chancadora estudiada (NW200HPS) y para los tamaños de agregados medidos (Gravilla  $\leq 1/2''$ , Gravilla  $\leq 3/8''$  y arena  $\leq 1/4''$ ), la metodología de investigación se puede extender a otros modelos de chancadoras conociendo sus propios parámetros.

## CAPITULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gran demanda por el uso de agregados en el sector construcción, genera continuamente la explotación de canteras de donde se extraen la materia prima para obtener agregados en función de los tamaños solicitados en la construcción de grandes obras como: Presas, Carreteras, Edificaciones, etc. donde el componente principal de las mezclas aglomerantes usadas es el agregado grueso para obtener mezclas químicas y físicas como el concreto hidráulico y el concreto asfáltico respectivamente, pudiendo extenderse los usos de los agregados para otros fines en los diversos tamaños que se presentan.

Para garantizar el abastecimiento de agregados no solo se requiere una buena ubicación y selección de canteras a explotar, a fin de garantizar la cantidad y seguridad medioambiental con la que será explotada la cantera, sino que en la etapa de procesamiento se deberá mantener altos niveles de producción, referidos al rendimiento de los equipos de chancado y separación.

Los equipos ampliamente utilizados en la etapa de procesamiento son las chancadoras, el cual con los accesorios que la acompañan para seleccionar y transportar el material forman la planta concentradora o planta chancadora de agregados. El trabajo con estos equipos requiere de una serie de procesos para lograr resultados favorables en la obtención de agregados a producir. Una forma eficaz de saber que tan favorable es o no el proceso de chancado, se logra midiendo el rendimiento de la planta chancadora y verificando el cumplimiento de los requisitos de calidad del mismo. La medición del rendimiento de la planta chancadora hace posible mejorar los niveles de operación y productividad de la misma. Al mismo tiempo podríamos obtener información referente al grado de aprovechamiento de los equipos de chancado, ya que la incidencia en costo de estos equipos en el proceso de chancado, es el más alto y constituye el presupuesto más grande en la etapa de procesamiento tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

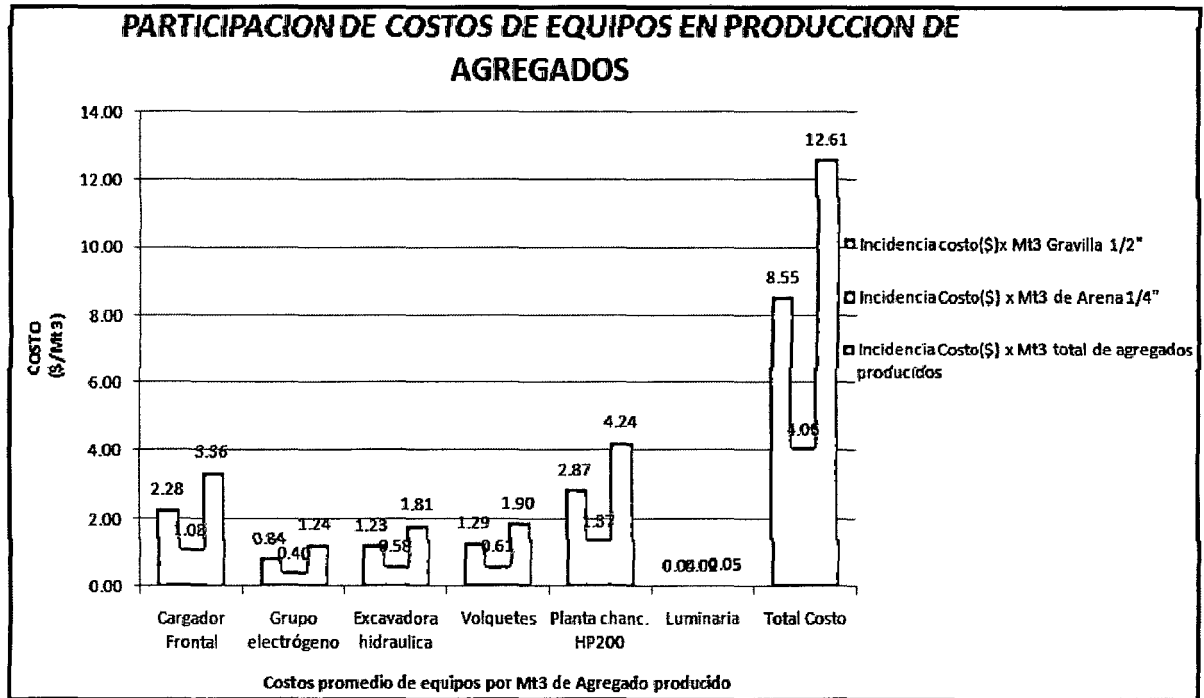


Fig. 1.1 Costo de producción de equipos sin considerar mano de obra para obtener 1m<sup>3</sup> de agregado  
 (Fuente: propia)

En nuestro medio, la información referida al manejo y control del rendimiento de producción de chancadoras es limitada, presentándose mayormente investigaciones relacionadas al montaje de chancadoras, prueba puesta en marcha e investigaciones relacionadas al control medioambiental de los trabajos de explotación de canteras. Viéndose los constructores y operadores de estos equipos en la necesidad de utilizar los manuales proporcionados por los fabricantes de estos equipos, los cuales tienen la limitación de dar condiciones ideales de procesamiento, mediante el cual se obtendrían altos niveles de producción, que en la práctica no suele darse, por diversos factores. Pero la necesidad de obtener agregados pétreos mediante procesos de chancado con costos y calidad aceptables para el constructor, hace necesario investigar cuales serían los factores reales mediante el cual se lleguen a cumplir estos requisitos. Por ello se requiere conocer de herramientas de control y manejo de chancadoras, para operar lo más eficientemente posible con estos equipos en planta en condiciones reales, a fin de no solamente producir con calidad los agregados sino garantizar buenos niveles de producción con esta clase de equipos.

El rendimiento de producción de las chancadoras obedece a ciertos factores identificados en ella. Motivo por el cual se sustenta el desarrollo de esta investigación.

## 1.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Las investigaciones referidas a plantas chancadoras mayormente consideran el montaje, aspecto ambiental, aspectos de seguridad, etc. Si bien estas consideraciones son de gran aporte para el trabajo con equipos de trituración y explotación de agregados, no proporcionan información referente a los factores que condicionan el rendimiento de producción en planta. Una información adicional de interés para el constructor, es sin duda la productividad y la calidad con la que se obtienen los agregados en las plantas concentradoras de agregados, utilizando equipos de chancado y separación.

La información concordante al trabajo y operación en plantas de chancado se encuentran referenciados en libros de ingeniería minera, ingeniería de materiales, artículos de investigación así como manuales de operación del fabricante de los equipos de chancado donde se establecen las condiciones necesarias a cumplir para tener un mayor aprovechamiento de estos equipos. También la experiencia es un factor importante para comprender mejor el proceso de chancado.

Existen investigaciones extranjeras referente al proceso de optimización de plantas chancadoras, como el artículo "Optimización de plantas chancadoras mediante algoritmo genético evolutivo" de Per Svedensten y C. Magnus de la Universidad Tecnológica de Chalmers, Göteborg Sweden publicado en Agosto de 2004. Donde el enfoque más trascendente que se da, es a los ratios de producción de agregados en los tamaños que demandan los clientes con una modelación matemática para optimizar los costos de producción. Y el artículo presentado por Garland Davis e Iván Acevedo en la MINExpo en Las Vegas Nevada, USA, Septiembre de 2004, titulado "Claves para encontrar el rendimiento óptimo de plantas chancadoras" dando a conocer los principales parámetros que definen y condicionan el rendimiento de plantas chancadoras, como parámetros de planta y de las propiedades del material de ingreso. Al finalizar el proceso de chancado, se observan los tamaños obtenidos, se hacen ensayos granulométricos y según las curvas obtenidas se plantea estudiar el rendimiento de la chancadora junto con la calidad de los productos obtenidos.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los factores o parámetros que determinan (condicionan) el rendimiento de la chancadora en planta de agregados, para que se conozca con mayor grado de certeza el rendimiento esperado al producir agregados de similar tamaño al que se está produciendo.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir gráficamente mediante redes secuenciales (CYCLONE) los trabajos realizados en una planta concentradora de agregados típica. Y mediante interacción de las unidades de producción involucradas en esta, se llegue a identificar puntos críticos de interés para controlar el rendimiento de cada uno de ellas, a fin de mejorar los costos totales de producción.
- Realizar comparaciones estadísticas de la cantidad procesada vs cantidad obtenida requerida. Para determinar el porcentaje de aprovechamiento del material integral que se procesa con la configuración establecida en la chancadora analizada.
- Identificar los factores influyentes más incidentes en el rendimiento de producción de agregados con el equipo de chancado.
- Establecer una fórmula de estimación del rendimiento de producción de agregados con el equipo de chancado analizado, basado en los valores de los factores influyentes identificados.

### 1.4 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Con fines del desarrollo de esta investigación, se hizo una revisión bibliográfica de la literatura existente, referente a la producción de agregados con chancadoras, tipos de chancadoras, manuales de operación de chancadoras, particularmente los manuales de la chancadora visualizada y estudiada en planta (chancadora secundaria modelo de cono NW200HPS), modelos de simulación en la construcción que permitan simular las operaciones en el proceso de chancado y comprender gráficamente los trabajos que se realizan.

Se llevó a cabo mediciones en la planta de agregados, para determinar las condiciones en que se procesan los materiales en planta y así poder identificar todos los posibles factores que afectan el rendimiento de producción de los agregados en las plantas visualizadas.

En el segundo capítulo, se muestran los aspectos teóricos considerados para esta investigación, tales como producción y consumo actual de agregados en diferentes



obras y en nuestro medio, dando una aplicación práctica de la planificación realizada para producir agregados en obras viales. Tipos y modelos de plantas chancadoras y los componentes y/o equipos que lo conforman, criterios de productividad y calidad en construcción, herramientas de simulación de procesos en construcción mediante redes secuenciales (CYCLONE) que permita describir gráficamente la interacción de las unidades de producción en los trabajos involucrados en el proceso de chancado, así como algunos conceptos mecánicos y geotécnicos que se relacionan con la investigación para comprender mejor, el efecto de ciertos parámetros que fijan el rendimiento, concepto de la calidad del agregado que se obtiene en función a la granulometría requerida.

En el tercer capítulo, se presenta el escenario donde se respaldan las mediciones para esta investigación tales como: ubicación de las mediciones, tipos de equipos utilizados en la producción, dando énfasis en la identificación de los factores que influyen en el rendimiento de producción en las plantas analizadas.

Considerando para ello, cada unidad de producción, las cuales son las partes que componen el proceso de trituración para obtener agregados de diversos tamaños, según se requiera en las obras. Los controles de calidad de los materiales procesados, consideraciones de seguridad laboral y medioambiental para los trabajos realizados en la zona, como una referencia a tomar en cuenta durante el procesamiento.

En el cuarto y último capítulo, se lleva a cabo una simulación del proceso de chancado mediante redes secuenciales (CYCLONE) para describir los puntos más críticos de espera relacionados al proceso de chancado, los cuales permitan monitorear al resto de los equipos que participan en la planta, a fin de garantizar costos favorables de producción. También se llevan a cabo los diseños de los datos obtenidos en campo, con el fin de facilitar la información de cuál será el rendimiento del chancado, conociendo el valor de los factores que influyen y fijan el rendimiento del equipo de chancado, comparándolos con el rendimiento comercial proporcionado por el fabricante del equipo. Se controla la cantidad de material aprovechable, obtenido en las etapas de trituración y zarandeo. Del mismo modo, se plantea una fórmula empírica, para estimar el rendimiento de producción (velocidad de producción) del material estudiado, para diferentes condiciones de los factores considerados como influyentes, en el rendimiento, válidos para la combinación de tamaños de agregados medidos (Gravilla 1/2"-Arena 1/4" y Gravilla 3/8"-Arena 1/4").

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

El rendimiento de producción de chancadoras, se entiende mejor cuando se conocen los factores que lo determinan. En esta investigación se hace una presentación *analítica de estos factores, quizás no en su totalidad, pero si las más notables que se pudieron apreciar en las mediciones del trabajo de campo y con la revisión bibliográfica realizada, esto da motivo a que surjan investigaciones similares que consideren otros factores no analizados, teniendo en cuenta que los factores deben ser característicos de cada modelo y tipo de chancadora.*

La mayoría de equipos de movimiento de tierras, como cargador frontal, retroexcavadora, etc. vienen acompañados de manuales de fabricante, donde en base a factores que son *condiciones ideales de trabajo, se pueden estimar los rendimientos esperados con estos equipos. Presentándose poca información similar, para el caso de chancadoras.*

El trabajo es válido para el modelo de chancadora estudiada (Chancadora secundaria de cono modelo NW200HPS) y para trabajos de chancado en plantas portátiles, ya que sólo se estudió esta clase de equipos, y también para el tipo de agregado procesado con estos equipos (Gravilla chancada de 3/8" y 1/2" y arena de 1/4"). *Queda abierta la posibilidad de levantar estas limitaciones, con investigaciones similares venideras para otras condiciones.*

## CAPITULO 2 – ASPECTOS TEÓRICOS

### 2.1 DEFINICIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

Los agregados (también llamados áridos), son partículas granulares de material pétreo de tamaño variable. Este material se origina por la fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. En este último caso actúan los procesos de chancados utilizados en las respectivas plantas de agregados<sup>1</sup>. La figura siguiente muestra el ciclo de vida, de los agregados, desde el momento que nace de una cantera, hasta su uso final en tamaño procesados de acuerdo a los requerimientos del especificados.

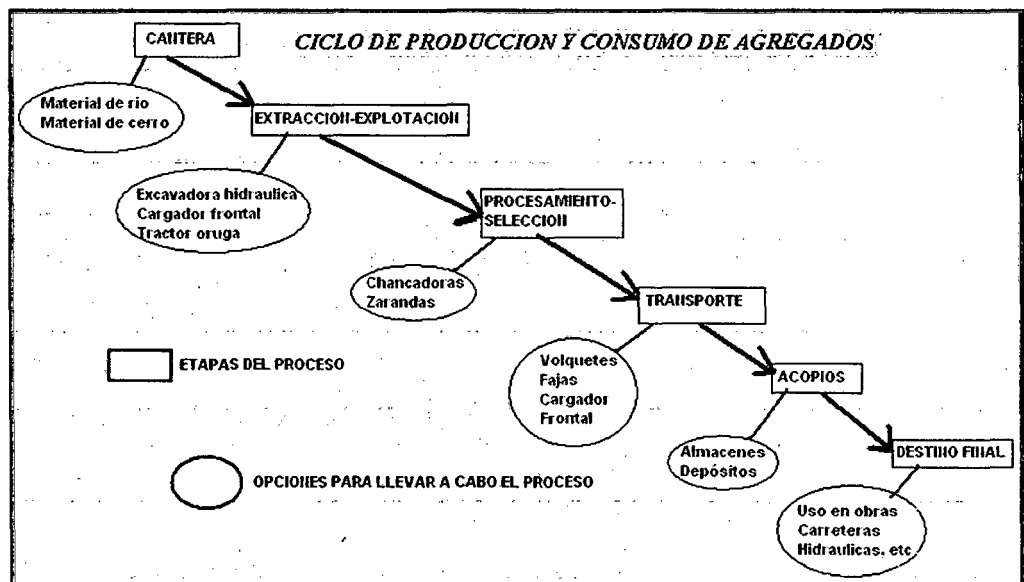


Fig. 2.1 Esquema del ciclo de vida de los agregados (Fuente propia)

Comúnmente la arena y la grava se extraen directamente de los lechos o las riberas de los ríos, mediante métodos de zarandeo, en cuyo caso predominan los elementos tipo canto rodado.

En tanto que las rocas mayores deben ser procesadas antes de poder incorporarlas como agregados. Estos se encuentran en canteras rocosas que se estudian previamente a la etapa de chancado y separación para garantizar que la potencia de explotación, satisfaga la cantidad requerida del tamaño de agregado a utilizar en los proyectos de construcción.

El material que es procesado en ambos casos, corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita.

<sup>1</sup> Los áridos en la construcción – Ebensperger Luis-Revista BIT Edición Mayo - Santiago Chile 2003

En términos generales, los agregados se pueden definir como el conjunto de fragmentos de materiales rocosos suficientemente duros, de forma estable e inerte en el concreto y mezclas asfálticas, que se emplean en la fabricación del mortero y del hormigón y bases estabilizadas cumpliendo una serie de requisitos dados en las normas técnicas establecidas.

En las figuras siguientes se pueden apreciar la producción de agregados de modo artificial con el empleo de plantas trituradoras. (Fotos 2.1 y 2.2).



Foto 2.1 Producción artificial de agregados en plantas concentradoras  
(Fuente: Ebensperger ,2003)

## 2.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE AGREGADOS EN DIFERENTES OBRAS<sup>2</sup>

Los agregados en sus diversas formas se han usado desde siempre en aplicaciones muy variadas, tales como caminos, puentes, edificaciones, defensas ribereñas, etc.

En la prehistoria ya se constata el empleo de bloques para conformar marcos y habitaciones destinadas a protegerse del medio ambiente. Luego, en el período pre-cristiano existieron aplicaciones comprobadas de agregados para construir

<sup>2</sup> Los áridos en la construcción – Ebensperger Luis-Revista BIT Edición Mayo - Santiago Chile 2003

fortalezas y grandes edificaciones (por ejemplo las pirámides de Egipto y América Central).

En el comienzo de la Era Cristiana (400a.C.-500 d.C.), el Imperio Greco -Romano hizo un aprovechamiento magistral de los agregados en caminos, puentes, estadios y otras magníficas estructuras a lo largo de Europa, África y Medio Oriente.

En América, los incas y los aztecas construyeron caminos, puentes, edificios y templos en base a agregados menores y bloques de roca adecuadamente tallados. Siendo estos los precursores en introducir técnicas de chancado para reducir el tamaño de los materiales rocosos a tamaños de fragmentos menores.

En los siglos XIX y XX, hasta hoy, se ha diversificado la aplicación de los agregados para satisfacer las crecientes necesidades de la humanidad, llegándose en la actualidad a consumos extraordinariamente masivos en todos los países del mundo, generando en algunas vastas regiones el agotamiento de las canteras.

- **Aplicaciones y usos actuales:** Usos típicos, corresponden a dos grandes casos: como producto final, o como materia prima para nuevos componentes. En uno u otro caso, el agregado ha pasado a ser un insumo imprescindible y básico para muchos procesos constructivos de infraestructura y edificación.

Para el primer caso se cuentan las defensas fluviales, marítimas o lacustres, escolleras, terraplenes, pedraplenes, carpetas de rodaduras, bases y sub-bases, balasto, mamposterías de piedra, rellenos estructurales y capas filtrantes.

En estos casos el material también debe cumplir exigencias específicas de acuerdo a cada uso, según el tipo de obra donde se requiere emplear.

Para el segundo caso, se cuentan los morteros, hormigones, mezclas y tratamientos asfálticos, y bases granulares tratadas. Dada la conjunción de varios componentes en uno nuevo, los requisitos de calidad son más exigentes en este caso, dado que el producto final debe cumplir sus propios requisitos de aplicabilidad, siendo el agregado sólo uno de los componentes involucrados.

El esquema siguiente muestra la distribución del uso de agregados que combinados con otros aglomerantes, son aplicados en obras de ingeniería.

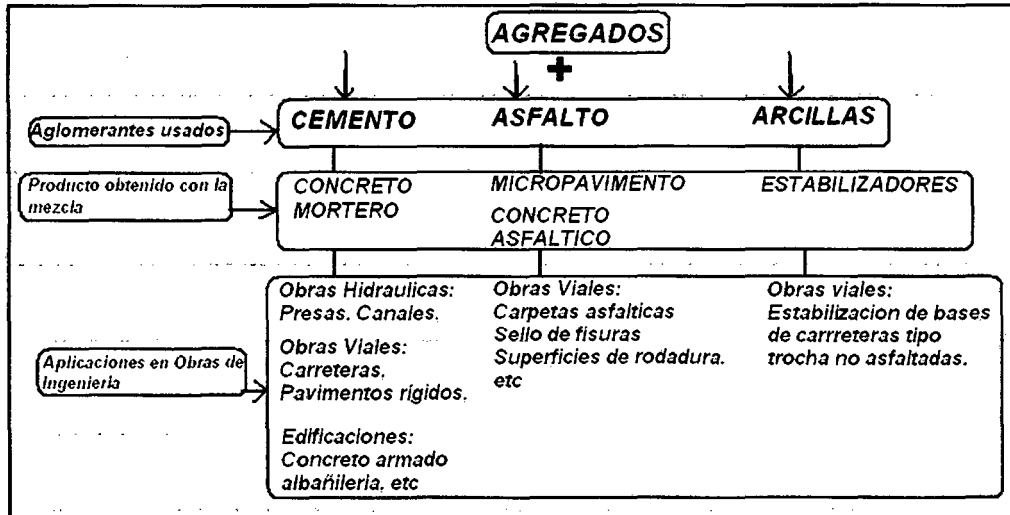


Fig.2.3 Esquema del uso de agregados en obras civiles (Fuente propia)

- **Aplicación práctica para la planificación de la explotación de agregados para obras viales**

**1. Delimitación del área de influencia:** Se sectoriza los tramos de trabajo en la vía, mediante la delimitación de las progresivas. Comúnmente se conoce esta fase como la creación de frentes de trabajo.

**2. Disponibilidad de canteras disponibles:** En función a las distancias y accesibilidad a la zona, potencia de explotación, calidad del material pétreo, permisos disponibles para la explotación, consideraciones medioambientales, etc.

**3. Alternativas para la explotación:** Maquinaria y equipo disponible, disponibilidad de operadores con experiencia, configurar red de trabajo (trenes de trabajo).

**4. Alternativas para el procesamiento:** Posibilidad de usar sólo zarandas estáticas, zarandas vibratorias, chancadoras (primaria, secundaria, terciaria) para ello se analiza la granulometría del material integral extraído de cantera con disponibilidad del mercado para contar con los equipos necesarios. Control de calidad aplicable al agregado obtenido en planta. Opciones para mejoramiento de calidad mediante lavado, zarandeo estático previo al chancado, etc.

**5. Almacenes y despachos:** Almacenamiento de material producido, cerca a l área de procesamiento, cerca a la zona de aplicación, seguridad y vigilancia para el material producido. Control del despacho de materiales entregados a obra.

En las siguientes figuras se plasman los criterios antes mencionados.

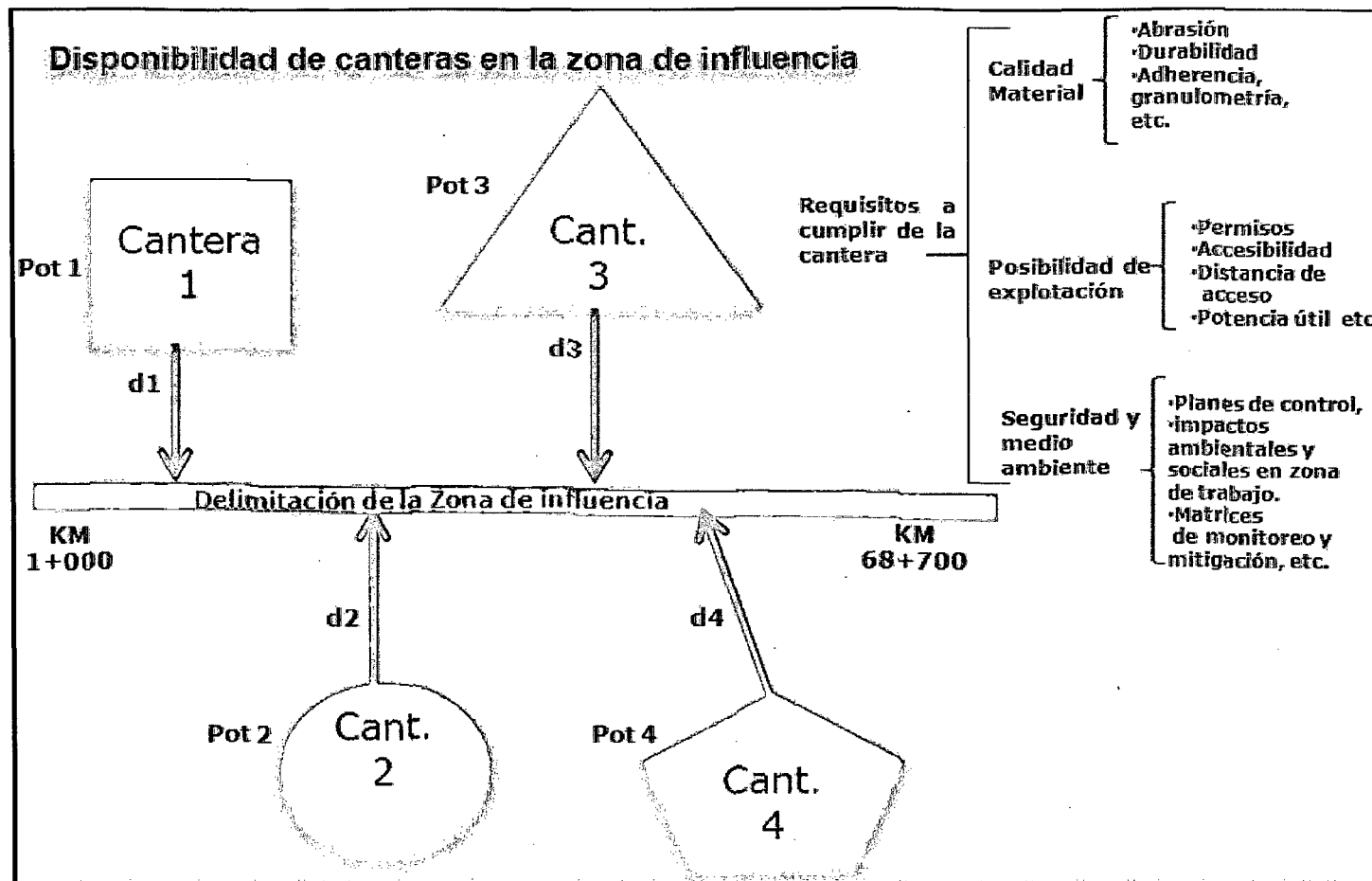


Fig.2.4 Análisis de canteras, previos a la etapa de chancado y separación de agregados para una obra vial (Fuente propia)

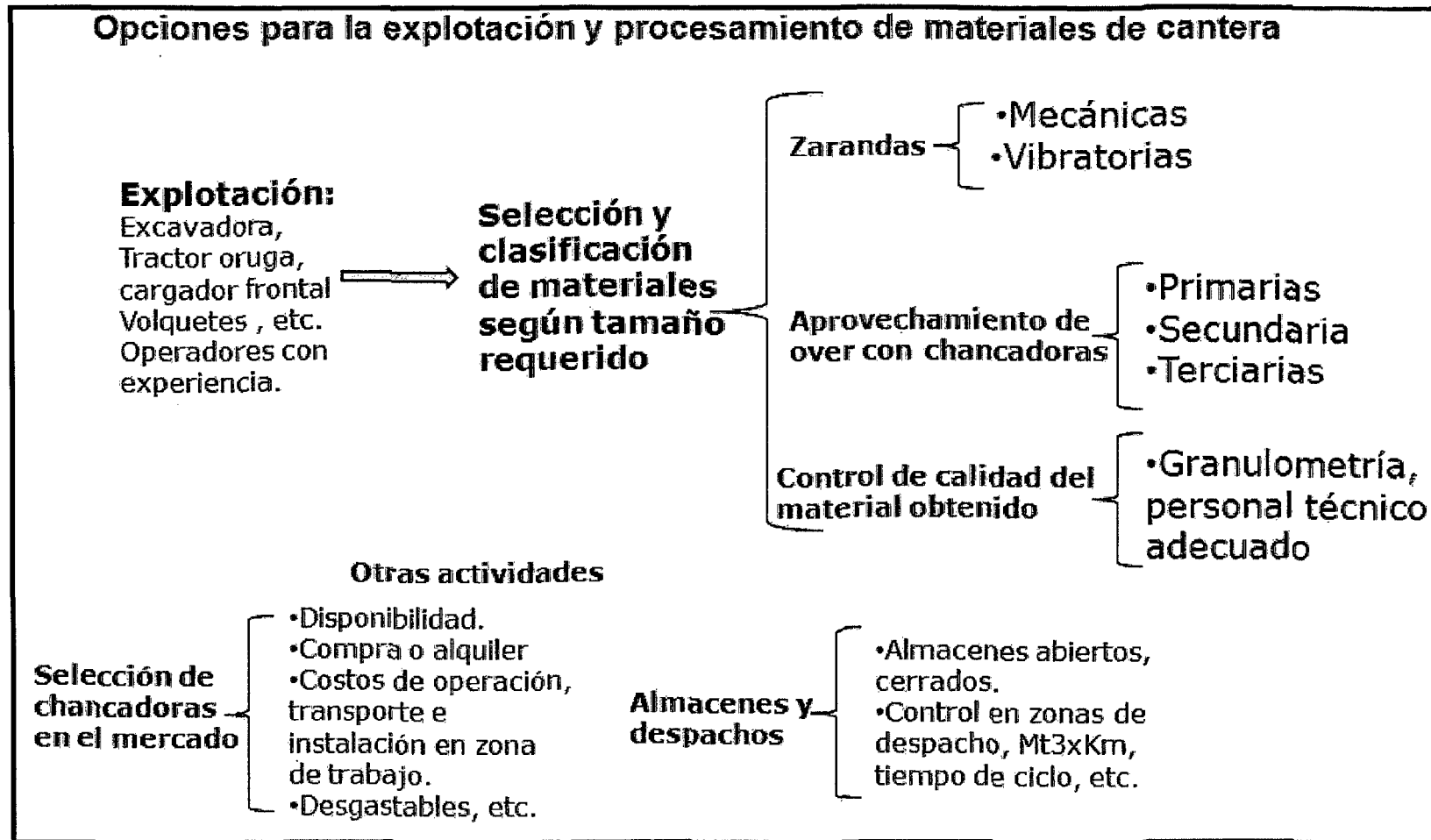


Fig.2.5 Esquema secuencial de los análisis a considerar durante la etapa de procesamiento y despacho de material producido



## 2.3 TIPOS DE PLANTA Y EQUIPOS QUE CONFORMAN LA PLANTA DE AGREGADOS

Las plantas concentradoras de agregados constan de equipos y maquinarias utilizadas para transformar los grandes bloques de piedras en piedras pequeñas, arenilla y arena.

Existen dos tipos de plantas: **portátil y estacionaria**.

**La planta portátil** es usada mayormente en la construcción de caminos ubicados en zonas altas o en trabajos públicos de pequeño y mediano tamaño con requerimiento de ser trasladado de un lugar a otro. Para abastecer demandas locales a medida que se cambian los frentes de trabajo.

**Las plantas estacionarias**, por otro lado, son más adecuadas para grandes escalas de producción y están ubicadas en función a los centros de abastecimiento, así como en procesamiento de minerales. Generalmente usados en obras donde la zona de influencia está ubicada en un solo lugar.

La diferencia entre ambas plantas radica en el montaje, tiempo de operación y rapidez en la movilidad de los equipos y accesorios que la acompañan.

El montaje para la planta portátil, por lo general no lleva cimentación, ya que se presentan montados sobre un chasis que le sirve como plataforma, disminuyendo significativamente los tiempos de instalación.

Los equipos y maquinarias principales que conforman la planta concentradora son:

### 2.3.1 CHANCADORAS

Las chancadoras (trituradoras o machaqueadoras en otros términos) son equipos especializados de trituración y molienda, accionados por energía, ya sea proveniente de redes públicas o por generadores eléctricos. Permiten reducir el tamaño de los agregados hasta un tamaño máximo deseable, según la fase y formas de procesamiento se pueden clasificar<sup>3</sup>:

#### a.) POR SU TAMAÑO

Dependen de las aberturas de entrada y salida de material en el interior de la cámara de chancado (ingreso y salida). Se pueden clasificar según el cuadro como:

---

<sup>3</sup> Cátedra del Curso: Caminos II- Llerena Cano Gustavo - Universidad Nacional de Ingeniería- Lima Perú 2008

Descripción	Ingreso	Salida
Primarias	12 " a 14" 10 " a 12" 8 " a 10"	6 " a 8" 4 " a 6" 2 " a 4"
Secundarias	6 " a 8" 4 " a 6" 2 " a 4"	2 " a 4" 1/2 " a 2" No. 4 a 2"
Terciarias	1/2 " a 2"	No. 4 a 3/8"

Tabla 2.1 Clasificación de chancadoras según aberturas  
 (Fuente: Llerena, 2008)

**b.) POR SU MÉTODO DE CHANCADO**

Esta clasificación depende de la forma de la cámara de chancado, mediante la cual se llega a triturar los materiales de ingreso. Entre las principales formas tenemos:

- **Chancadoras de Mandíbulas:** La forma en que se reduce el tamaño en la cámara de chancado es similar al proceso del masticado de alimentos. El esquema muestra una mandíbula fija y otra móvil. La mandíbula móvil es la que se desplaza de arriba hacia abajo siguiendo una velocidad de rotación definida que facilita la caída de agregados por gravedad a través de los canales de entrada y salida, permitiendo reducir los tamaños hasta un máximo deseable.

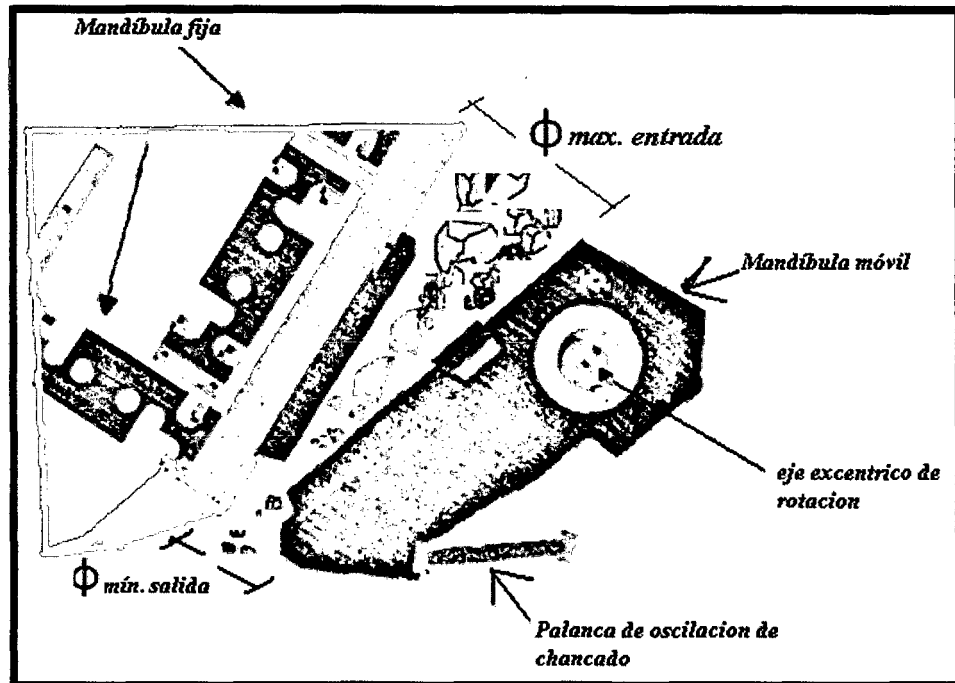


Fig.2. 6 Esquema de la cámara interior de una chancadora de mandíbula  
(Fuente: Lindqvist et.al, 2003<sup>4</sup>)

- **Chancadoras de Cono:** La reducción del tamaño se hace por medio de una cámara de chancado en forma de cono, ingresando en la parte superior a través de un canal de entrada en el cual el agregado descende por gravedad y mediante la rotación del eje excéntrico que origina un desgaste en las paredes del cono al entrar en contacto con el material rocoso se lleva a cabo el chancado. El material reducido sale a través del ducto de salida conocida también como reglaje, en función a los tamaños que se han ajustado previamente.

<sup>4</sup> Predicción del desgaste geométrico en chancadoras de cono- M. Lindqvist et.al-Universidad Tecnológica de Chalmers- Suecia 2003

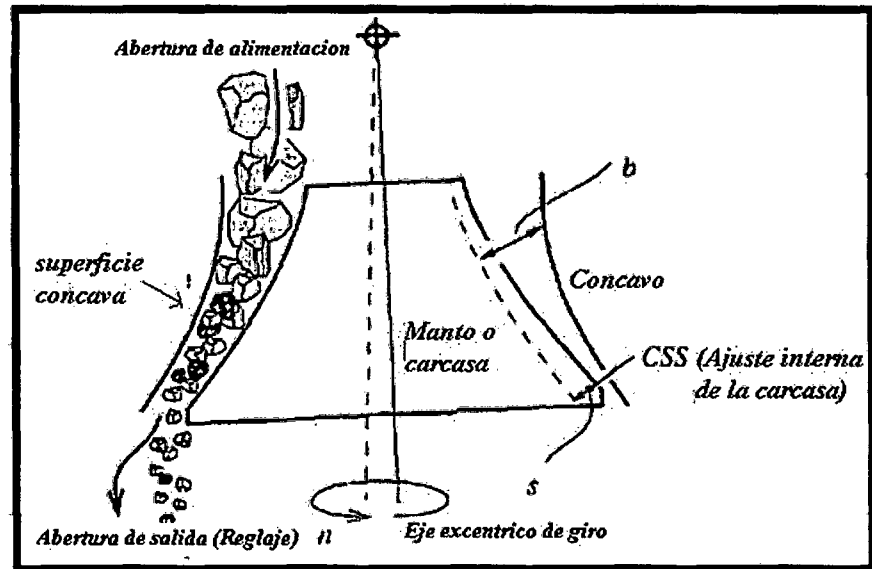


Fig.2.7 Esquema de cámara interior de una chancadora de cono  
(Fuente: Lindqvist & Evertsson, 2003)

• **De Impacto:** La trituración para este caso se lleva a cabo mediante golpes de los agregados de entrada en las paredes de la cámara de chancado. De esta forma se reduce el tamaño de los agregados a obtener. La ventaja que ofrece esta clase de chancadora es que según su tamaño, permiten triturar agregados de entrada de gran tamaño, presentándose mayormente como chancadoras primarias.

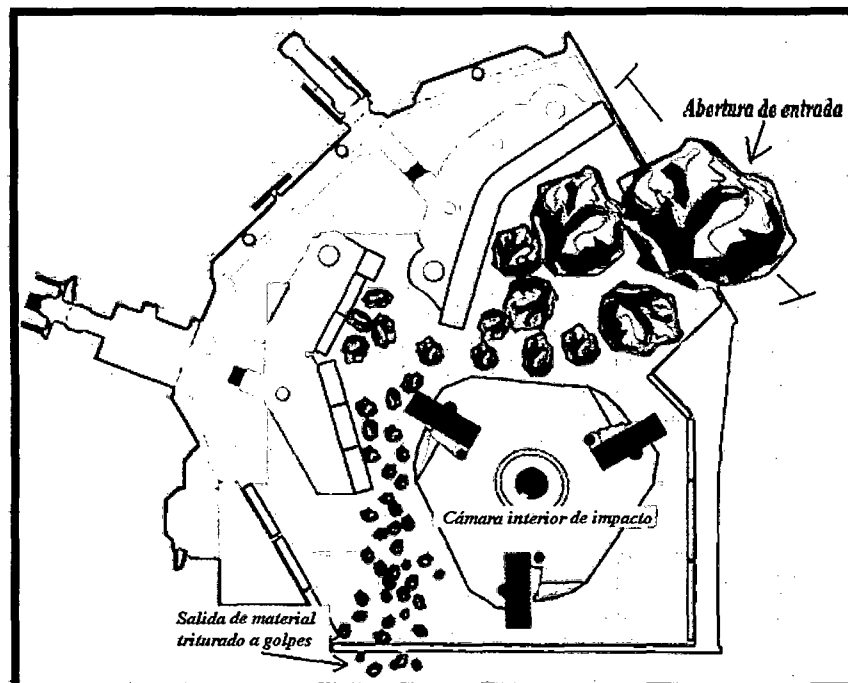


Fig.2.8 Esquema de cámara interior de una chancadora de impacto  
(Fuente: Brochure de Eagle Crusher Company Inc)

### 2.3.2 ZARANDAS

Separan el material en dos grupos, uno con tamaños mayores al tamaño de la malla y otro con granos menores al tamaño de la malla utilizada. La clasificación de las zarandas obedece al modo de accionamiento del zarandeo y a la forma que estas presentan. Siendo efectivo el zarandeo cuando se utilizan mallas que superen en un máximo de 25% al tamaño del grano a separar<sup>5</sup>. Según la forma como se lleva el zarandeo tenemos:

#### a.) ZARANDA ESTÁTICA

No es accionada por equipo alguno generalmente usado para etapa de preselección, donde se separan materiales de gran tamaño, respecto a materiales de un tamaño homogéneo que podrán ingresar a la cámara de chancado. Según la forma de sus mallas estas pueden ser:

- Zaranda estática de rieles
- Zaranda estática de parrilla



Foto 2.2 Zaranda estática de parrilla  
(Fuente: Llerena, 2008)

<sup>5</sup> Curso de capacitación Zarandas-GyM S.A, Lima 2008

### b.) ZARANDA MECÁNICA VIBRATORIA

Consiste en un chute metálico vertical, el mismo que vibra por acción de un motor eléctrico, dentro de este chute vertical están instaladas una serie de mallas que clasifican el material en diversos tamaños.

Existen muchos tipos de zarandas mecánicas, pero los podemos reducir a cuatro tipos principales mostrados debajo, de los cuales el 60% usados a nivel mundial son de inclinación simple, y de zarandeo por estratificación. Otros tipos de doble, triple o inclinación múltiple donde se zarandea por estratificación y por caída libre o combinándolas para diferentes aplicaciones. Según el tipo de inclinación tenemos:

- Simple Inclinación: Zarandeo por estratificación con Movimiento circular  $15^\circ$  Movimiento lineal  $0^\circ-5^\circ$ . Actualmente líder en zarandeo selectivo

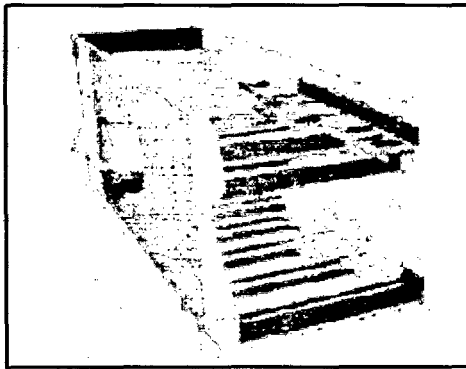


Fig.2.9 Zaranda mecánica de inclinación simple  
(Fuente: Curso de Zarandas-GyM S.A, Lima 2008)

- Doble inclinación: De caída libre Compacta—Alta capacidad. Pero baja selectividad es típica en circuitos de zarandeo.

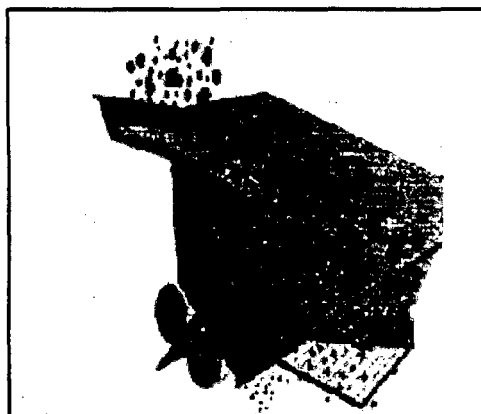


Fig.2.10 Zaranda mecánica de doble inclinación  
(Fuente: Curso de Zarandas-GyM S.A, Lima 2008)

- Triple inclinación: Combina capacidad y selectividad. Típica para zarandeo controlado.

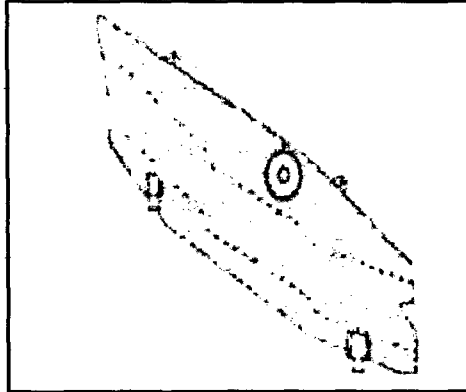


Fig.2.11 Zaranda mecánica de inclinación triple  
(Fuente: Curso de Zarandas-GyM S.A, Lima 2008)

- Inclinación Múltiple Banana Screen: Efectivas en zarandeo en camas delgadas. Popular en Carbón y Minería Metálica.

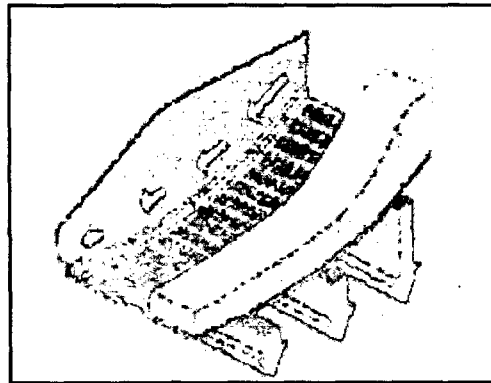


Fig.2.12 Zaranda mecánica de inclinación múltiple tipo Banana Screen  
(Fuente: Curso de Zarandas-GyM S.A, Lima 2008)

### 2.3.3 FAJAS TRANSPORTADORAS

Son equipos longitudinales de material de caucho con un ancho de sección definido, accionado mecánicamente por motores eléctricos que permiten el traslado de material a través de un circuito establecido en el lugar de trabajo. De esta forma se llega a reemplazar, en muchas ocasiones el uso de camiones o cargador frontal para las labores de transporte y alimentación de material de un punto a otro.



Foto 2.3 Faja transportadora de agregados (Fuente propia)

## 2.4 CONCEPTOS GEOTÉCNICOS Y MECÁNICOS USADOS EN PLANTAS DE AGREGADOS

Para desarrollar esta investigación se ha hecho un análisis detallado de los siguientes términos y definiciones que serán utilizados en el transcurso del mismo.

### a. Granulometría

El análisis granulométrico tiene por objetivo determinar la distribución de tamaños de las partículas existente, en una muestra seca de agregados. Para lograr esto se utilizan una serie de tamices normalizados, ordenados de mayor a menor abertura donde se suele pasar al material<sup>6</sup>.

### b. Curva Granulométrica

Los resultados del tamizado y sedimentación, se llevan a un gráfico representativo llamado curva granulométrica.

La curva se dibuja en papel semilogarítmico. Las ordenadas en escala aritmética representan a los porcentajes en peso de partículas con diámetro menor que cada uno de los lados de las abscisas, que representan las aberturas de los tamices normalizados.

Las abscisas en escala logarítmica representan los tamaños de las mallas en milímetros. Esta escala, en razón de que los diámetros ( $\Phi$ ) varían de cm a  $\mu\text{m}$ .

Para clasificación granular del suelo se tienen distintos sistemas como los mostramos a continuación:

---

<sup>6</sup> Cátedra del curso: Mecánica de suelos I – Escobar Gonzalo & Escobar Enrique-Universidad Nacional de Colombia sede Manizales – Colombia 2002



	AASHTO <sup>1</sup>	ASTM <sup>2</sup>	SUCS <sup>3</sup>
	Φ(mm)	Φ(mm)	Φ(mm)
Grava	75 – 2	> 2	75 – 4.75
Arena	2 – 0.05	2 – 0.075	4.75 - 0.075
Limo	0.05 – 0.002	0.075 – 0.005	< 0.075 FINOS
Arcilla	< 0.002	< 0.005	

1. Sociedad Americana de caminos y sistemas oficiales de transporte
2. Sociedad americana de ensayos de materiales
3. Sistema unificado de Clasificación de Suelos

Tabla 2.2 Clasificación de suelos según el tamaño de sus partículas  
(Fuente: Escobar, 2002)

El análisis granulométrico de una muestra de suelo, utilizando la especificación AASHTO T-27, se da como a continuación se muestra:

DATOS DE LA MUESTRA		TAMAÑO MÁXIMO	:	3/4"		
		Peso inicial seco	:	11500	g	
		Fracción	:		g	
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
3"	76.200					"B"
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000				100.0	100
1/2"	12.700	325	2.8	2.8	97.2	90 100
3/8"	9.500	5430	47.2	50.0	50.0	20 55
1/4"	6.300	5405	47.0	97.0	3.0	0 15
Nº 4	4.750					
Nº 8	2.360	310	2.7	99.7	0.3	0 5
Nº 10	2.000					
Nº 16	1.190	30.0	0.3	100.0		
Nº 20	0.840					
Nº 30	0.600					
Nº 40	0.425					
Nº 50	0.300					
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.150					
Nº 200	0.075					
< Nº 200	FONDO					

Tabla 2.3 Análisis granulométrico por pesos de una muestra de suelos  
(Fuente: Dpto. QA/QC GyM S.A Obra Survial-Apurimac 2009)

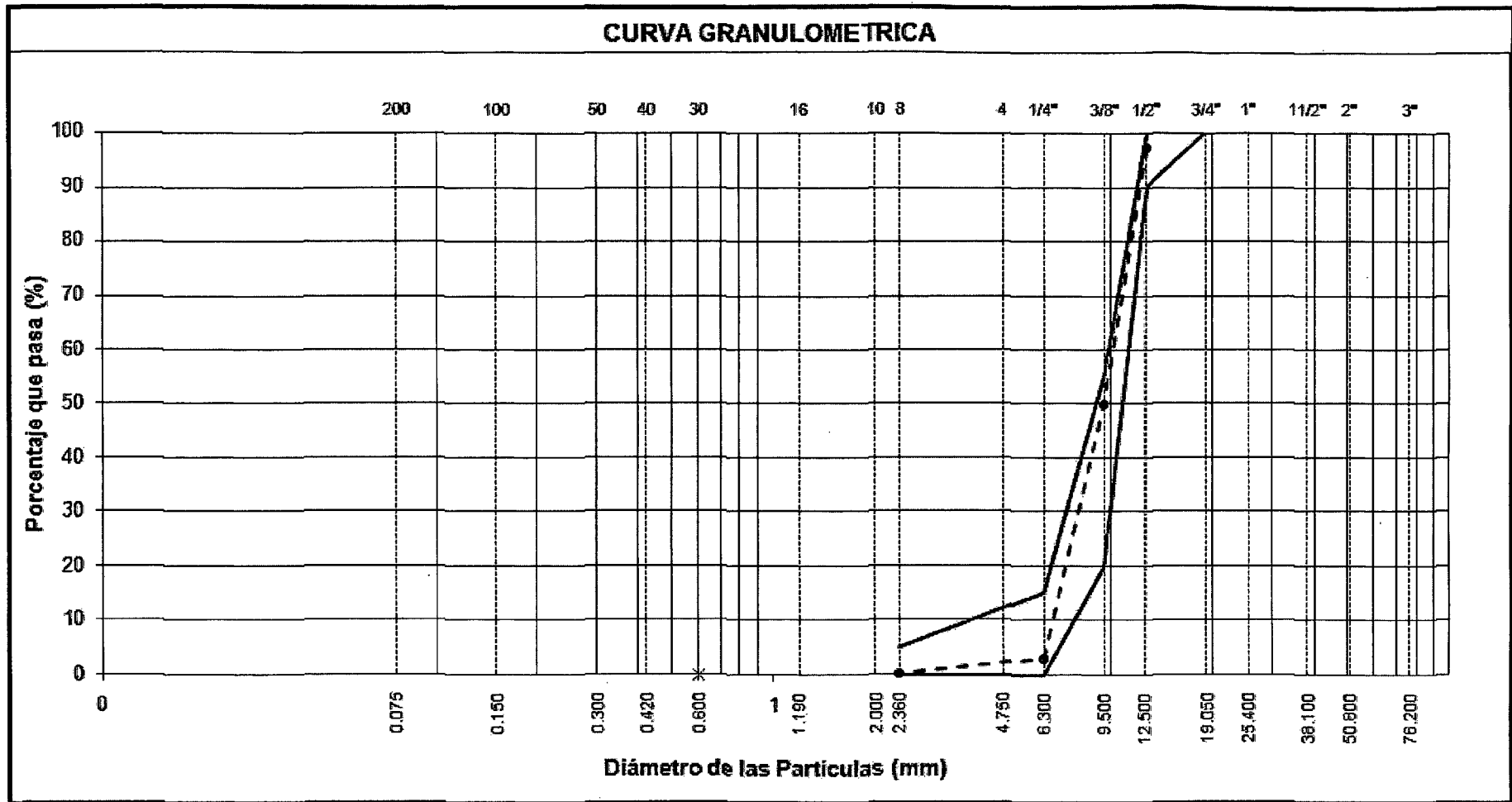


Fig. 2.13 Curva granulométrica representativa de la tabla n°3 (Fuente: Dpto. QA/QC GyM S.A Obra Surviai-Apurimac 2009)

### c. Abrasión

Es la propiedad de los materiales a sufrir u ocasionar desgaste en las paredes de otro cuerpo cuando es sometido a fricción continua. Esta propiedad es determinante para fijar que tan fácil o difícil es el chancado del material conociendo su abrasividad.

Existen tres tipos de abrasividad conocidas desde el punto de vista de la dureza del material, los cuales son:

1. Abrasión por Impacto.
2. Abrasión por presión.
3. Abrasión por atrición.

Para fines prácticos nos referiremos a la abrasividad por **impacto**, ya que el método de medir esta abrasividad es ampliamente usada en nuestro medio, nos referimos al ensayo de los Ángeles.

#### c.1) Método del ensayo de los Ángeles (ASTM C535-03)

Este método mide la pérdida de masa que sufre un agregado al ser sometido a un proceso de desgaste. Se fundamenta en someter una muestra de agregado previamente lavada y pasada por 7 granulometrías distintas a la acción de la máquina de los Ángeles, conformada por un cilindro hueco de acero (Tambor) de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, atravesado longitudinalmente por un eje central que hace posible su giro<sup>7</sup>.

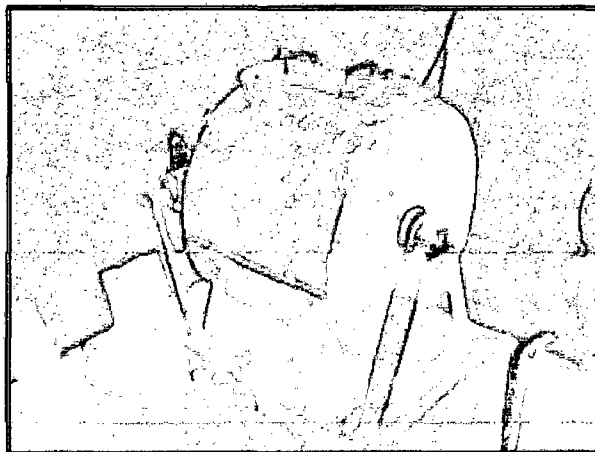


Foto 2.4 Tambor del ensayo los ángeles  
(Fuente: Gutiérrez, 2008)

<sup>7</sup> Cátedra del curso: Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte- Gutiérrez Lazares Wilfredo- Universidad Nacional de Ingeniería-Lima Perú 2008

En el tambor se introduce la muestra de agregado con una carga abrasiva conformada por bolas de acero macizo según el tipo de granulometría ensayada. Los pesos y el número de las bolas para el ensayo se da, según:

TIPO DE GRADACION	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (grs)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Tabla 2.4 Características de las esferas introducidas en el tambor del ensayo los Ángeles  
(Fuente: Gutiérrez 2008)

El impacto entre el agregado y las bolas de acero ocasiona la abrasión, expresándose en porcentaje de desgaste, como la diferencia del peso inicial seco de la muestra y la masa del material desgastado entre el peso inicial seco de la muestra.

$$ABRACION(\%) = \left( \frac{Pa - Pb}{Pa} \right) * 100$$

Abrasión: Grado de desgaste sufrido el material, referida a la pérdida del peso.

Pa= Peso inicial de la muestra seca (gr)

Pb= Peso final de la muestra al ser sacada del tambor luego de girar a mas de 30rpm durante 500 revoluciones aproximadamente.

#### **d. Durabilidad**

Es la propiedad que tiene un cuerpo al intemperismo químico. Si bien no influye directamente en el rendimiento del chancado, este factor nos proporciona la calidad de los materiales rocosos procesados, para soportar las variantes de temperatura en las zonas de aplicación.

El ensayo de laboratorio para obtener esta propiedad se logra utilizando simuladores químicos (sulfato de sodio o sulfato de magnesio) como agentes de desgaste durante 5 ciclos para finalmente lavar y secar el material para pesarlo, para ver si el material cumple las normas o el expediente técnico del proyecto. El porcentaje de desgaste se mide según.

$$\% \text{ desgaste} = \left( \frac{P_a - P_b}{P_a} \right) * 100\%$$

% desgaste= Grado de desgaste sufrido por el material frente al ataque de sulfatos.

Pa= Peso inicial de la muestra seca (gr)

Pb= Peso final de la muestra luego de transcurridos los 5 ciclos (gr)

#### **e. Contenido de Humedad**

Es la cantidad de agua contenida en una muestra. El método tradicional de obtener la humedad del suelo es por secado al horno, donde el contenido de humedad se expresa en porcentaje de peso de la cantidad de agua contenida en la muestra con el peso seco de la muestra. También puede usarse una cocina a fuego moderado para inducir la pérdida de agua. Su expresión viene dada de la siguiente forma:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

w (%)= Contenido de humedad de la muestra expresada en porcentaje

Ww= Peso de agua en la muestra ensayada, calculado por la diferencia de peso de la muestra inicial antes de ingresar al horno y el peso al final de la muestra sacada del horno (gr)

Ws= Peso de la muestra secada al horno (gr).

### 2.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS EN CONSTRUCCIÓN MEDIANTE REDES SECUENCIALES - CYCLONE

La simulación de construcción ha sido un instrumento académico desde los años 1960. Existen más de 20 programas de construcción en EE UU y Canadá que ofrecen un curso de simulación de construcción tanto en niveles de pregrado como en el postgrado. Actualmente la modelación en 3D es la tendencia en el área de simulación.

Sin embargo, desarrollar modelos en 3D de las operaciones en construcción es muy complejo y consume bastante tiempo.

Aunque la simulación haya demostrado ser un instrumento de enseñanza valioso en el ámbito académico, el empleo práctico por parte de los profesionales ha sido limitado. Las operaciones en construcción han estado poco dispuestas a considerar este instrumento como una ayuda para el mejor uso de recurso y la mejora de

productividad, ya que muchas veces realizar el modelo apropiado para la simulación requiere de bastante tiempo. En general, los estudios de operaciones en construcción requieren de instrumentos que proporcionen soluciones rápidas sin requerir la entrada de las cantidades excesivas de datos.

Por lo general, los contratistas de construcción trabajan por intuición basados en la experiencia en trabajos y situaciones similares.

La mayor parte de contratistas de construcción sienten que instrumentos analíticos restringen el empleo de su conocimiento intuitivo a la solución del problema presentado (Halpin 1998).

Sin embargo, ya que muchas operaciones en construcción son cíclicas de modo natural, presentan un gran potencial para ser mejoradas mientras se desarrolla una simulación del proceso. En esta sección presentamos un modelo gráfico de simulación en construcción que utiliza 6 símbolos o figuras para describir diferentes estados de las tareas que se asignan en algunos procesos repetitivos en construcción. Nos referimos al modelo CYCLONE.

El modelo CYCLONE es una metodología de simulación de procesos de construcción presentada en 1976 por el profesor Daniel W. Halpin, originalmente en la Universidad de Illinois, y posteriormente desarrollada en la de Universidad de Purdue. El nombre se deriva de las palabras en inglés CYCLic Operations NETwork. Se sustenta en una representación gráfica que simula un sistema conteniendo variables que pueden ser determinísticas o aleatorias. Cuando el sistema corresponde a un proceso de construcción, se requiere que éste se disgregue en tareas y se conozca como éstas interactúan. La aplicación de este modelo está situada en la etapa de procesos del siguiente cuadro jerárquico que se muestra en el esquema de abajo. Hacemos referencia a este método para describir la interacción de recursos usados en la producción de agregados. Resaltando en el diagrama los puntos críticos de espera, indicador de actividad no productiva que pueden ser reducidos con un plan de monitoreo y programación de los equipos en planta<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Conferencias de invierno: Los verdaderos usos mundiales de simulación de proceso en construcción-Farrington P. & Nemhard H- Universidad de Purdue- West Lafayette USA 1999

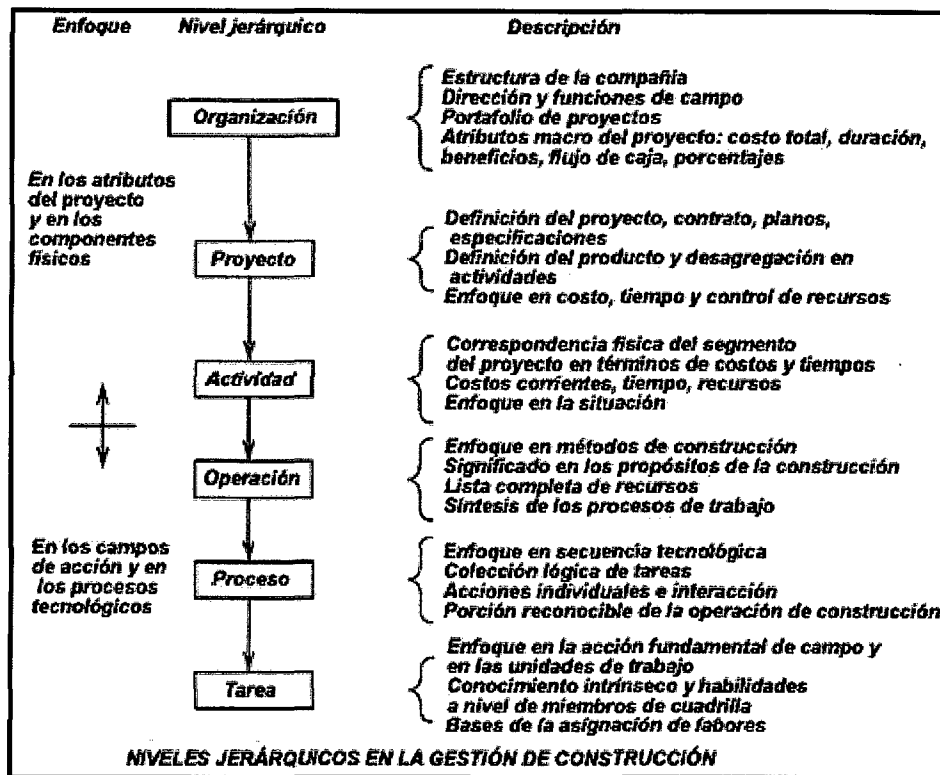


Fig.2.14 Esquema jerárquico de la gestión en construcción  
(Fuente: T. Vargas 2009<sup>9</sup>)

### 2.5.1 ELEMENTOS BÁSICOS DEL MODELO CYCLONE

Para utilizar el modelo gráfico CYCLONE, se describen los símbolos que caracterizan las tareas de las distintas actividades en construcción. Un punto crítico, de estos diagramas, es cuando se presentan elementos en espera representados por círculos con una línea cruzada. Estos puntos, según el tiempo que representan, pueden constituir cuellos de botella en el proceso productivo. La flecha indica un flujo continuo de actividad, por lo cual la interrupción de estas ocasionaría una paralización inmediata de las otras actividades.

<sup>9</sup> Exposición de Seminario en Simulación En Construcción -Vargas Teófilo. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Univ. Nacional de Ingeniería – Lima Perú 2009

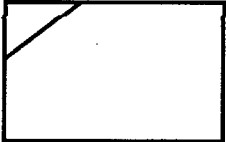

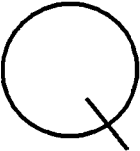
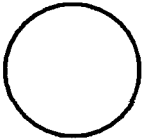


Nombre del símbolo	Símbolo	Función
COMBI		Este elemento requiere que todos los recursos estén disponibles para empezar, en cuyo caso se combinan. Siempre está precedido por elementos de ESPERA. Si algunas de las unidades necesarias no están disponibles, es que se encuentran en espera, las que han llegado deberán esperar.
NORMAL		Representa una tarea que puede empezar tan pronto como llegue la unidad o recurso (cargador, cuadrilla) del elemento precedente, sin esperar restricciones.
ESPERA (QUEUE)		Este elemento precede a todos los COMBI y se relación con una ubicación en la cual esperan los elementos pendientes de combinación. Se miden las estadísticas de demoras y esperas.
FUNCION (FUNCTION)		Se incluye para ejecutar una función especial, activando los elementos que le preceden. Puede ser para conteo consolidación, marcando o acopio estadístico.
ACUMULADOR (ACCUMULATOR)		Es un sistema de conteo de un ciclo de un subsistema o de un sistema. No detiene ninguna operación.
FLECHA O ARCO (ARC)		Indica la estructura lógica del modelo y dirección del flujo de una entidad(recursos o mecanismos de control)

Tabla 2.5 Principales símbolos del modelo CYCLONE  
 (Fuente: Vargas, 2009)



## CAPITULO 3 – ESCENARIO DEL ESTUDIO Y CONDICIONES DE TRABAJO CON EL EQUIPO DE CHANCADO

### 3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO

Los datos de producción, han sido recogidos de dos plantas de agregados que fueron utilizadas en el sector 4 del Corredor Vial Interoceánico Sur Tramo I, para la producción de arena y gravilla chancada para la colocación de slurry y tratamiento superficial del pavimento existente.

Dicha vía comprende los tramos indicados a continuación.

	SECTOR	DESDE	HASTA	INICIO	FIN
IRSA SUR TRAMO I	1	SAN JUAN DE MARCONA	EMPALME PANAMERICANA SUR	039+688	000+000
	2	EMPALME PANAMERICANA SUR	DESVÍO NAZCA	488+220	450+000
	3	DESVÍO NAZCA	DESVÍO PAMPACHIRI	000+000	245+100
	4	DESVÍO PAMPACHIRI	CHALHUANCA	245+100	342+150
	5	CHALHUANCA	EMPALME R03S	342+150	443+700
	6	EMPALME R03S	ABANCAY	757+300	771+100
	7	ABANCAY	PUENTE CUNYAC	779+200	869+250
	8	PUENTE CUNYAC	CUSCO	869+250	960+700
	9	CUSCO	URCOS	984+000	1015+200
		URCOS	FIN DEL TRAMO	1017+200	1019+450

Tabla 3.1 sectores correspondientes al corredor vial Interoceánica Sur Tramo I  
(Fuente propia de la Obra)

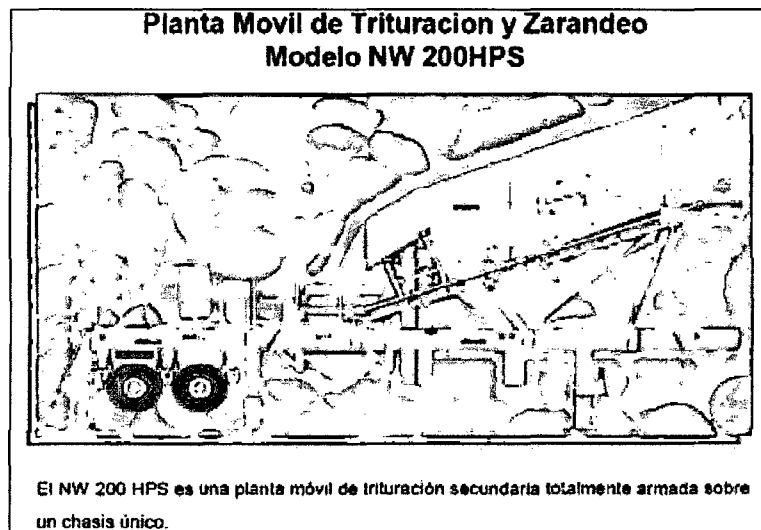
Las plantas chancadoras estudiadas se ubicaron en el Km 276+350 (distrito Quillcaccasa) y el Km 338+700 (distrito Chalhuanca) del sector 4 de tramo I, pertenecientes a la provincia de Aymaraes departamento Apurímac, a una altitud aproximada que va desde los 2800 a 3400msnm. Trabajando ambas plantas con el mismo modelo de chancadora (NW200HPS), pero con diferentes condiciones de procesamiento, como diferente material, diferente configuración del equipo, diferente personal, entre otras diferencias.

La producción de material requerido en el periodo de medición (Mayo-Junio-Agosto 2009) es una combinación de gravillas de 1/2" (Monocapa tipo B) y 3/8" (Monocapa tipo C) con arena de 1/4" (Slurry seal tipo II), los cuales son utilizados para trabajos de tratamiento superficial monocapa, Bicapa y micropavimento, en la vía antes mencionada. Los datos de producción serán indicados en el capítulo 4.

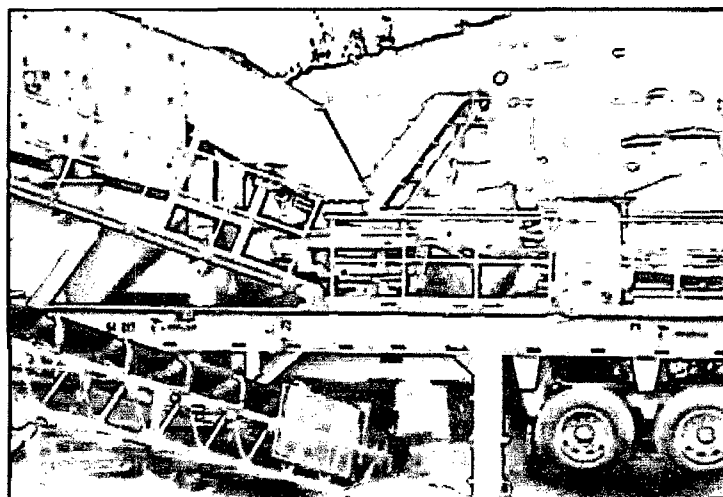
### 3.2 MODELO Y TIPO DE CHANCADORA ANALIZADA

La chancadora portátil analizada, en la cual se mide el rendimiento de producción, corresponde al modelo de chancadora secundaria de cono NW 200HPS de la línea de Molinos Nordberg serie HP.

El equipo es utilizado para la trituración de materiales rocosos de tamaños superiores a 1" hasta convertirlos en tamaños utilizables en obras civiles. Su condición de portátil hace posible disminuir los tiempos de instalación, prueba y puesta en marcha del mismo. La figura adjunta nos muestra la forma que es montada la planta chancadora móvil, incluyendo su molino de cono y la zaranda vibratoria que lo conforman<sup>10</sup>.



**Fig.3.1**Esquema de la planta móvil de trituración y zarandeo  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)



**Foto 3.1** Esquema del montaje de planta móvil de trituración y zarandeo

<sup>10</sup> Manual de chancadoras Modelo NW 200HPS - Metso Minerals Cía. [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)

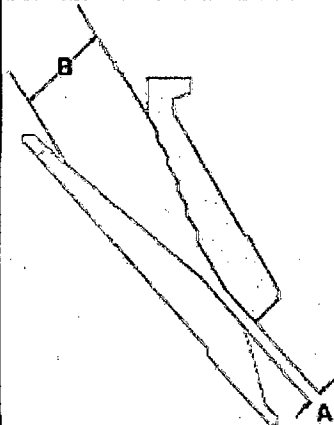
## COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PLANTA CHANCADORA

### a. MOLINO CÓNICO DE TRITURACIÓN

La reducción del tamaño se hace por medio de una cámara de chancado (forro o carcasa) en forma de cono, el forro o cámara de trituración se elige según el tamaño de material a triturar. Pudiendo este ser: Extrafina, fina, media y gruesa.

La correspondencia de las aberturas del canal de entrada y salidas se hacen según la tabla 3.2. La apertura B corresponde al tamaño máximo de material de ingreso en la cámara de chancado.

		Cámaras de trituración			
		STANDARD		CABEZA CORTA	
Tamaño de molino	Cámara	Reglaje Mínimo "A" <sup>1</sup>	Apertura de alimentación "B" <sup>2</sup>	Reglaje Mínimo "A" <sup>1</sup>	Apertura de alimentación "B" <sup>2</sup>
HP200	Extra Fina			6 mm (0.24")	25 mm (0.98")
	Fina	14 mm (0.55")	95 mm (3.74")	6 mm (0.24")	25 mm (0.98")
	Medio	17 mm (0.67")	125 mm (4.92")	6 mm (0.24")	54 mm (2.13")
	Gruesa	19 mm (0.75")	185 mm (7.28")	10 mm (0.39")	76 mm (2.99")



<sup>1</sup> El reglaje "A" mínimo puede variar según las características de los materiales y de la velocidad de giro del molino

<sup>2</sup> Apertura de alimentación "B" correspondiente al reglaje mínimo "A"

Tabla 3.2 Selección del tipo de forro en la cámara de chancado según reglaje  
 (Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

El esquema de configuración del reglaje (abertura mínima) "A" y su apertura de entrada correspondiente "B", se ajustan mediante un motor hidráulico el cual permite equilibrar el circuito de trituración (ver fig. 3.7). De acuerdo al tamaño a reducir.

Es importante resaltar esta clasificación, ya que según el análisis granulométrico realizado al material de cantera, se tendrá que identificar el porcentaje de material aprovechable, y según sea conveniente, elegir el forro adecuado para llevar a cabo la trituración de agregados.

Las condiciones de trituración de agregados para convertirlos a un tamaño dado, son particulares, no se puede usar el mismo tipo de forro, si los tamaños de agregados a reducir son distintos, esto tiene que ser considerado para garantizar la vida útil y conseguir costos de trituración adecuados de los agregados, ya que la pérdida de accesorios desgastables, hace que se incremente los costos por la necesidad de cambiarlos y reemplazarlos periódicamente.

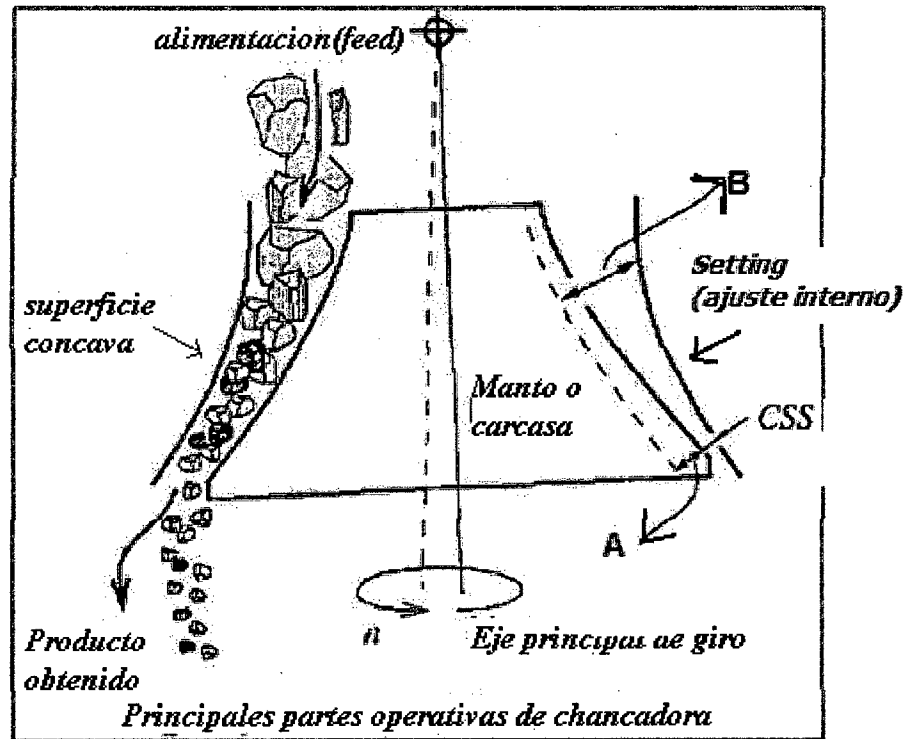


Fig. 3.2 Esquema interior de ajuste del reglaje según tamaño requerido de material  
(Fuente: Lindqvist & Evertsson, 2003)

#### b. ZARANDA VIBRATORIA DE INCLINACIÓN MÚLTIPLE MODELO BANANA

Zaranda Vibratoria modelo Banana (6' = 1.83mt de ancho x 16' = 4.88mt de largo), con mallas metálicas de estratificación y separación con motorización de 30 HP para la vibración.

La zaranda consta de tres niveles de mallas con diferentes aberturas que dependen del tamaño de agregado que se desea seleccionar y separar mediante la vibración por estratos.

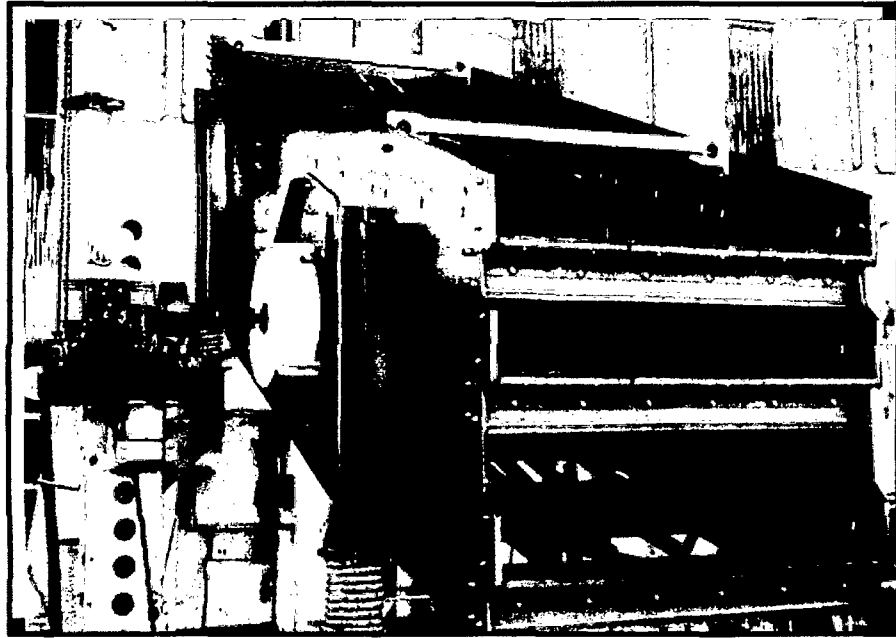


Fig.3.3 Vista de los tres niveles de malla de la zaranda vibratoria tipo Banana  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

### CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE Y TRANSPORTE DEL MODELO DE CHANCADORA NW200HP SEGÚN EL FABRICANTE

Según el sitio donde se va operar, las consideraciones proporcionadas por el fabricante para un trabajo del equipo, tanto para la instalación y transporte del equipo de chancado y separación, dejando presente que se tome sólo como referencia ya que se tienen que adoptar las condiciones locales en la zona de trabajo.

#### a. MONTAJE PARA LA OPERACIÓN

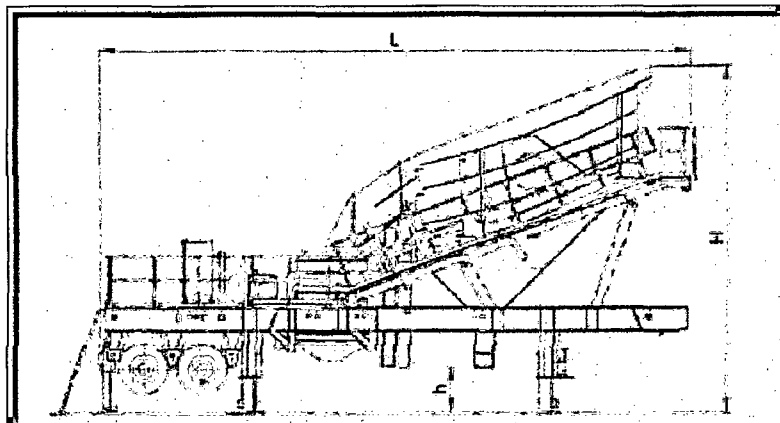


Fig.3.4 Vista del montaje de operación de la planta trituradora portátil según fabricante  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

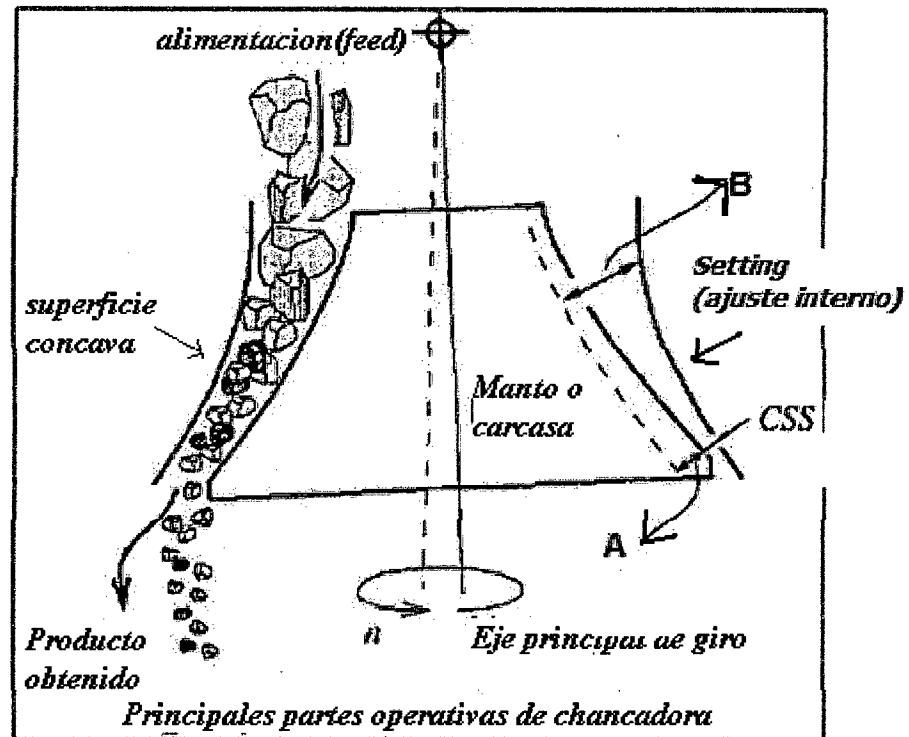


Fig. 3.2 Esquema interior de ajuste del reglaje según tamaño requerido de material  
(Fuente: Lindqvist & Evertsson, 2003)

#### b. ZARANDA VIBRATORIA DE INCLINACIÓN MÚLTIPLE MODELO BANANA

Zaranda Vibratoria modelo Banana (6' = 1.83mt de ancho x 16' = 4.88mt de largo), con mallas metálicas de estratificación y separación con motorización de 30 HP para la vibración.

La zaranda consta de tres niveles de mallas con diferentes aberturas que dependen del tamaño de agregado que se desea seleccionar y separar mediante la vibración por estratos.

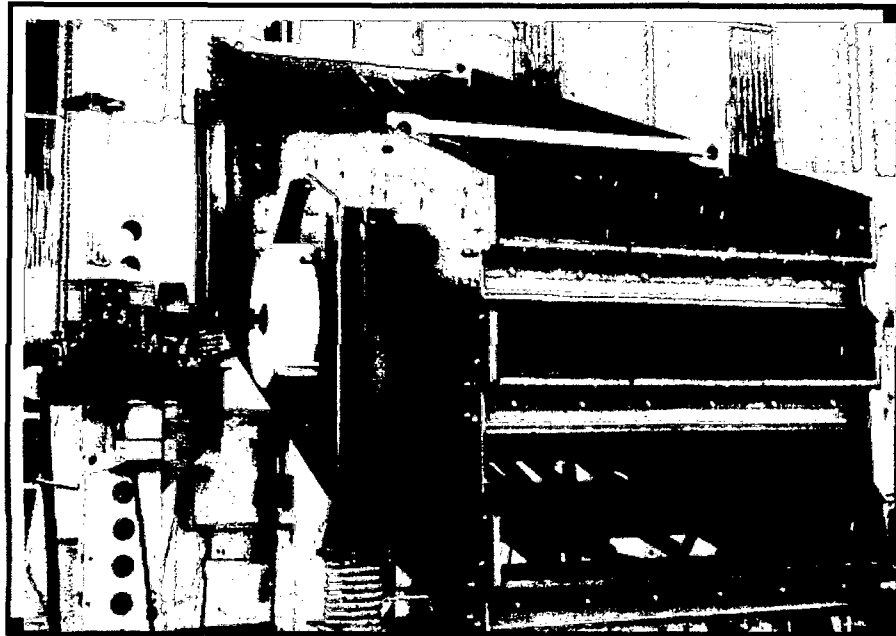


Fig.3.3 Vista de los tres niveles de malla de la zaranda vibratoria tipo Banana  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

### CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE Y TRANSPORTE DEL MODELO DE CHANCADORA NW200HP SEGÚN EL FABRICANTE

Según el sitio donde se va operar, las consideraciones proporcionadas por el fabricante para un trabajo del equipo, tanto para la instalación y transporte del equipo de chancado y separación, dejando presente que se tome sólo como referencia ya que se tienen que adoptar las condiciones locales en la zona de trabajo.

#### a. MONTAJE PARA LA OPERACIÓN

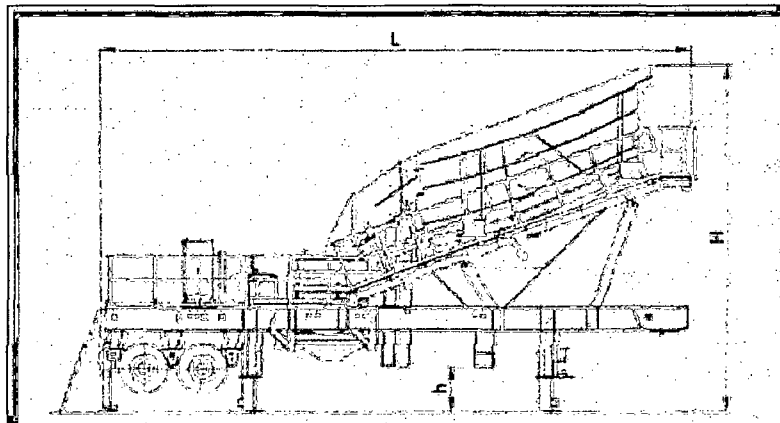


Fig.3.4 Vista del montaje de operación de la planta trituradora portátil según fabricante  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

## b. MONTAJE PARA EL TRANSPORTE

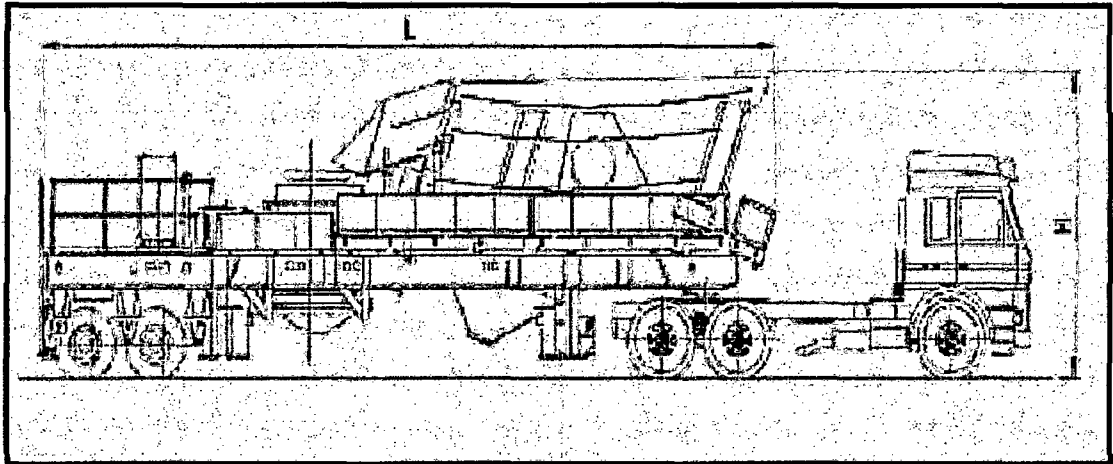


Fig.3.5 Vista del montaje para el transporte de la planta trituradora portátil según fabricante  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

Modelo	Máquinas		Dimensión (m)							Peso (Kg)	Potencia total instalada (HP)
	Molino	Zaranda	Operación			Transporte					
NW200HPS	HP200	C056x16TD	12.7	7.5	4.2	1.0	13.1	4.4	3.2	34,900	205

Tabla 3.3 Dimensiones recomendadas por el fabricante para el montaje y transporte de la planta  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

Donde:

L= Longitud total de la plataforma de la planta portátil (m)

H= Altura máxima de zaranda (m), y altura de transporte de zaranda.

B= Ancho de la plataforma del chasis de la planta portátil.

h= Separación del nivel del piso al primer chasis de apoyo.

### 3.3 UNIDADES DE PRODUCCIÓN QUE PARTICIPAN EN PLANTA CHANCADORA

Son aquellas partes individuales del proceso productivo de agregados, que participan en la transformación del producto, desde su condición de materia prima hasta que esté listo para usarlo como producto final.

Las principales unidades de producción en plantas son:

a. **Unidades de material:** Son los materiales extraídos de las canteras, estos se caracterizan por provenir de orígenes distintos como: Material de río y material de cerro.



Así estos materiales vienen acompañado de valores propios tales como: Abrasividad, humedad, granulometría, peso específico suelto, etc.



Foto 3.2 Unidad de material - Material integral extraído de río (Fuente propia)

**b. Unidades de extracción:** Son los equipos utilizados en las canteras, para poder extraer (explotar) el material integral. El equipo utilizado con mayor frecuencia es la excavadora hidráulica.

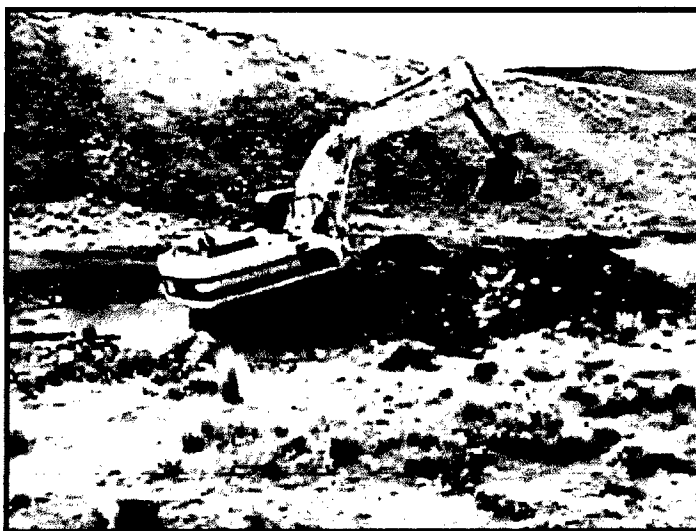


Foto 3.3 Unidad de extracción – Excavadora hidráulica (Fuente propia)

**c. Unidades de alimentación:** Equipos utilizados en la alimentación de la tolva de entrada del circuito de chancado. El equipo representativo de estas unidades es el cargador frontal.



Foto 3.4 Unidad de alimentación - Cargador frontal (Fuente propia)

- d. **Unidades de clasificación:** Son los equipos y accesorios que se utilizan en planta para separar y clasificar los productos obtenidos en función de los tamaños requeridos. Ejemplo: Zarandas mecánicas, vibratorias, mallas, etc.

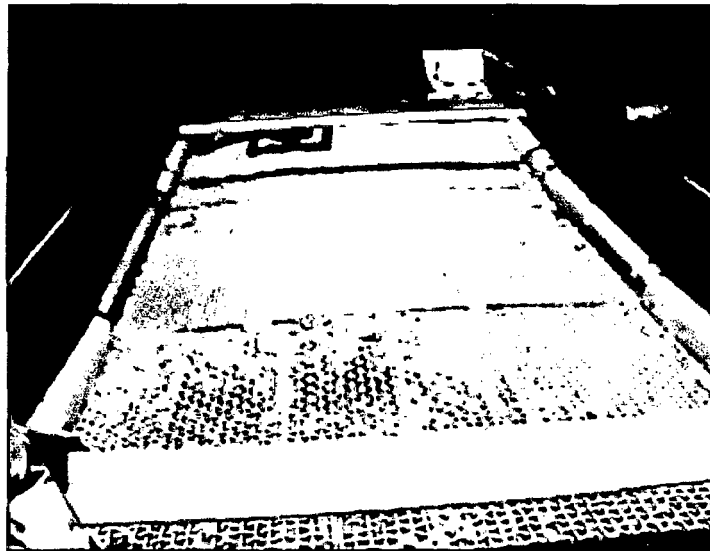


Foto 3.5 Unidad de clasificación-Mallas de la zaranda vibratoria (Fuente propia)

- e. **Unidades de transporte:** Son los equipos que se utilizan para trasladar el material en todas sus etapas, desde que se encuentra en banco como material integral hasta la zona de acopio como producto final. Ejemplo: Fajas, camiones volquetes, etc.



Foto 3.6 Unidad de transporte-Camión volquete (Fuente propia)

- f. **Unidades de almacenamiento:** Representado por los lugares donde se coloca el material, tanto para alimentar a la chancadora y apilar el material como producto terminado.

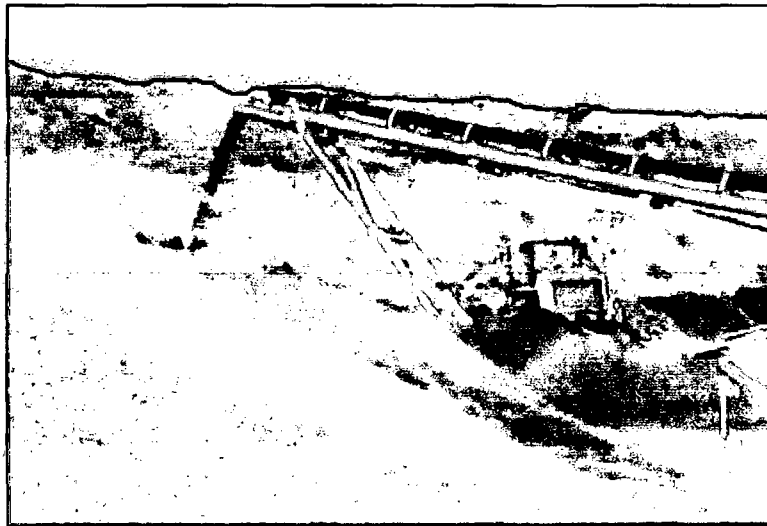


Foto 3.7 Unidad de almacenamiento-zona de acopio de material procesado (Fuente propia)

- g. **Unidades de energía:** Son las unidades encargadas de suministrar energía a los equipos eléctricos de chancado. Dependiendo de su tipo de fuente de alimentación, estas pueden ser: Grupo electrógeno o Corriente de la red pública.



Foto 3.8 Unidad de energía-grupo electrógeno de la planta chancadora (Fuente propia)

### 3.4 RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN REAL Y ESTIMADA POR EL FABRICANTE DE LA CHANCADORA

La producción comercial (en toneladas por hora, t/h) del modelo de chancadora Nordberg 200HPS (NW 200HPS) especificada por el fabricante, se da en la tabla siguiente.

Producción instantánea en Ton/h en función del reglaje o canal de salida (Rendimiento teórico de producción)												
REGLAJE LADO CERRADO (Agregados menores a:)												
Tamaño	6mm	8mm	10mm	13mm	16mm	19mm	22mm	25mm	32mm	38mm	45mm	51mm
NP200 t/h			90-120	120-150	140-160	150-190	160-200	170-220	190-235	210-250		

Tabla 3.4 Producción teórica en T/h en función de la abertura de salida del molino de cono  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

Estos valores se refieren a la cantidad total de material reducido que pasaría por el molino de chancado, a través del canal de evacuación del cono, configurado de acuerdo al ajuste (Setting). Los valores indicados, según el manual del fabricante, se aplican a materiales de una densidad de  $1.6 \text{ ton/m}^3$ . Un bajo contenido de finos, baja humedad, limpio de cualquier impureza.

Como el molino de cono es una parte del circuito de chancado, su rendimiento depende en parte de la selección y funcionamiento correctos de alimentadores, fajas transportadoras, mallas de zarandeo, estructura soporte, motores eléctricos, componentes de unión y tolvas intermedias de alimentación. Una especial atención debe

observarse con los siguientes factores que pueden disminuir los rendimientos del molino<sup>11</sup>.

1. Alimentación conteniendo materiales plásticos
2. Presencia de finos en la alimentación del molino
3. Humedad de los materiales
4. Segregación en la alimentación
5. Mala distribución de la alimentación en torno a la cámara de trituración
6. Ausencia de control de caudal
7. Insuficiente producción de las cintas transportadoras
8. Para un circuito cerrado, insuficiente superficie de zarandeo de mallas
9. Insuficiente dimensionamiento del conducto de evacuación
10. Material extremadamente duro y resistente referidos a la abrasión

Los siguientes cuadros indican las características granulométricas de los productos obtenidos según la abertura de salida indicada por el fabricante.

Curvas de Producción (Porcentaje pasante por la malla, según el reglaje)														
REGLAJE DE SALIDA (mm)														
		6	8	10	13	16	19	22	25	28	32	38	45	51
A B E R T U R A	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
	63	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95	90
	51	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	92	82	68
	38	100	100	100	100	100	100	100	98	95	90	76	62	50
	32	100	100	100	100	100	100	95	90	79	69	52	42	36
	25	100	100	100	100	98	94	85	74	60	49	40	33	28
	22	100	100	100	100	95	88	76	63	51	42	34	28	25
	19	100	100	100	98	92	82	68	57	46	37	30	26	22
	16	100	100	99	92	80	69	55	46	36	29	24	20	18
M A L L A	13	100	99	92	78	66	55	43	36	28	22	18	16	14
	10	100	93	81	66	55	45	34	30	23	18	15	13	11
	8	94	82	69	55	45	37	28	24	19	15	13	11	10
	6	82	67	55	43	36	29	22	19	16	12	9	8	7
	4	65	49	40	32	26	21	16	14	11	9	7	6	5
	(mm) 2	40	28	23	17	13	11	8	7	6	4	3.5	3	2.5

Tabla 3.5 Análisis granulométrico del material producido en función de las aberturas de salida  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

<sup>11</sup> Manual de chancadoras Modelo NW 200HPS - Metso Minerals Cía. [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)

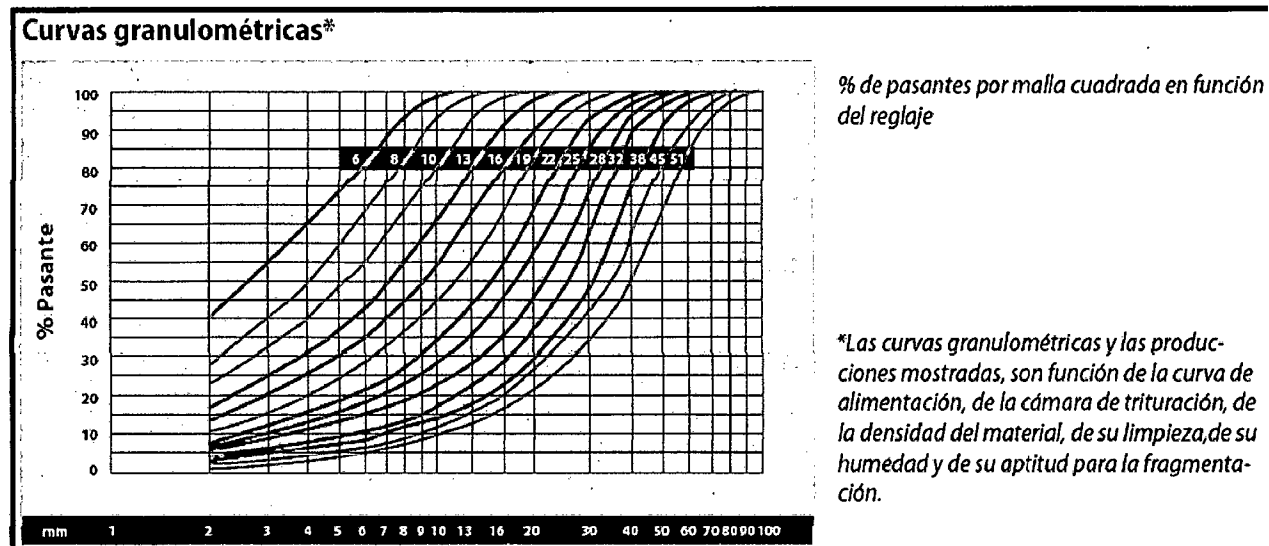


Fig.3.6 Curvas granulométricas del material producido en función de las aberturas de salida  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

### 3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL CHANCADO

Como se aprecia en la **tabla 3.5**, el rendimiento comercial de producción, proporcionado por el fabricante del equipo, depende de ciertos factores, 10 de los cuales han sido identificados por el propio fabricante, donde se da a conocer las consideraciones y cuidados en los mismos, para lograr los niveles de producción ofrecidos en el manual proporcionado. Dichos factores son asociados tanto para el material de ingreso como las condiciones que deben tener los accesorios que complementan los trabajos de la planta chancadora.

Sin embargo, estudiar la influencia de todos los factores que afectan el rendimiento del chancado, resulta complicado, y poco práctico. Por lo cual se detallan a continuación los factores más resaltantes, que influyen en el rendimiento. La influencia de dichos factores, han sido corroborados en campo. Al final se trabajará sólo con 5 de estos factores (Granulometría de material integral, Contenido promedio de Humedad y finos de material de ingreso, nivel de abrasión del material de ingreso, número de mallas alimentadoras al molino de cono) determinando para cada uno, según el valor que presente, los parámetros correspondientes, para estimar rangos de rendimientos reales esperados.

- **FACTORES DEL MATERIAL DE INGRESO**

El material de ingreso, conocido también como material integral será el que proviene de la cantera elegida para su explotación.

### a. Factores visuales del material integral

Los materiales procesados en la planta chancadora estudiada, son de dos orígenes principalmente. Material de cerro y material de río que se pueden apreciar visualmente.

**a.1 El Material proveniente de cerro:** generalmente presenta fracturas en toda su estructura, con forma angulosa. Este tipo de material por lo general requiere chancadoras de menor potencia para su trituración, dependiendo siempre de la composición mineralógica que lo conforma. Uno de los inconvenientes de este material es el contenido elevado de finos, lo cual hace necesario utilizar un sistema de lavado muy riguroso dependiendo siempre de las características del material que se desea obtener.

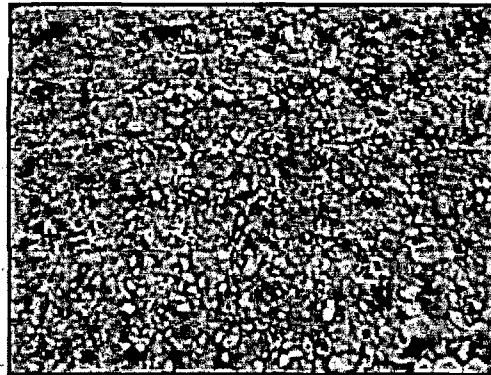


Foto 3.9 Características visuales de material de cerro, presenta alta cantidad de finos (Fuente propia)

**a.2 Material de río:** presenta formas redondeadas, conocidas como canto rodado. Esta forma del material requiere generalmente chancadoras con mayor potencia ya que su estructura compacta hace que la trituración sea más exigente. La ventaja de este material es que se requiere un sistema de lavado menos exigente que el material de cerro ya que su contenido de finos es menor, por haber sido lavado de modo natural en las riberas del río.

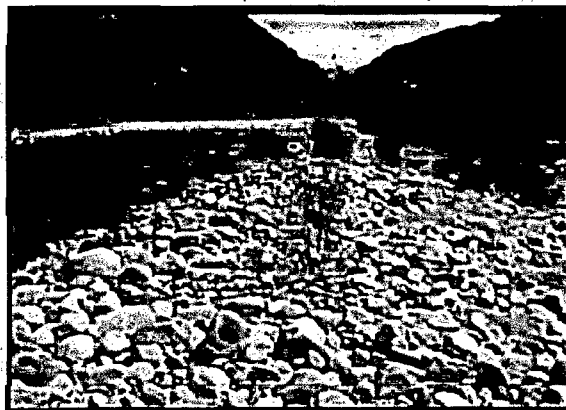


Foto 3.10 Características visuales de material de río-Limpio y de consistencia dura (Fuente propia)

## **b. Propiedades geotécnicas y mecánicas del material integral**

### **b.1 Granulometría del material de ingreso:**

La distribución de los tamaños del agregado que ingresará en la cámara de chancado, indicará el porcentaje aprovechable para el chancado de acuerdo a la abertura de entrada en el molino. Si por ejemplo, la abertura de entrada al molino de cono es de 4" y se tienen 2 materiales distintos que presentan diferente granulometría, una con 30% de material que pasa la abertura de 4" y el otro con 20% de material pasante en la abertura de 4", lo más probable es que el primer material será más aprovechable para el chancado, con la abertura ajustada de 4" sobre el molino de cono, ya existe mayor cantidad de material para ello.

Por otro lado una granulometría con poca cantidad de finos es más favorable para el chancado y selección utilizando las zarandas. El equipo de chancado y separación, tendrá mejor condición para triturar continuamente el material de ingreso si el material de ingreso está libre de impurezas que ocasionen atascamiento en las mallas de la zaranda vibratoria. En el análisis granulométrico que se practica al material de ingreso, se puede cuantificar el porcentaje de finos que ingresa al circuito de chancado.

**b.2 Humedad del material de ingreso:** El contenido de agua en el material de entrada, es otro de los factores que establecen la facilidad o dificultad del chancado, de acuerdo a las proporciones en que se encuentre. Un efecto de la humedad en el material de ingreso, se aprecia cuando se combina con la cantidad de finos presente. Se crea un material con plasticidad elevada (tipo barro) que satura las mallas del zarandeo, se cierran los agujeros de las mallas y el rendimiento tiende a disminuir por perderse la capacidad de zarandeo.

La relación anterior, es válida sólo para cierto rango de valores, ya que si una cantidad considerable de agua ingresa sobre el material, como por ejemplo cuando se coloca un aspersor en el ingreso a la zaranda vibratoria, el agua empujará el material fino hacia abajo, facilitando el zarandeo y lavado del material. Por ello la combinación entre los finos y la humedad, influirá negativamente en el rendimiento para ciertos valores, generalmente cuando la humedad es baja y el contenido de finos es mayor. En la siguiente foto, se muestra el sistema de lavado que se estableció sobre el agregado que ingresa al circuito de chancado en una planta de agregados inspeccionada. Para este caso el incremento de la humedad inducida por el lavado favorece al rendimiento de producción, ya que el agua expulsa hacia abajo a los materiales finos.





Foto 3.11 Incremento de humedad inducida por el lavado, para eliminar los finos (Fuente propia)

**b.3 Nivel de Abrasión del material de ingreso:** La abrasión del material de ingreso, representado por el porcentaje de desgaste que sufre el material integral al ser sometido a una fricción continua en el ensayo Los Ángeles nos dice que tan exigente es el chancado del material de ingreso con la chancadora de cono NW200HPS. El hecho de considerar la abrasión como factor influyente en el modelo de chancadora NW200HPS, se debe a que al girar el molino cónico, desgasta al material de ingreso por fricción continua con las paredes del forro o manto del molino cónico. Mientras los porcentajes de desgaste del material son altos, indica que el material es más triturable. Si el material presenta porcentajes de desgaste bajos, será un material con mayor dificultad para el triturado. Contrariamente a esta comparación, las especificaciones técnicas del material a utilizar en los proyectos viales, exigen materiales más resistentes al desgaste por fricción.

- **FACTORES PROPIOS DE LA PLANTA CHANCADORA**

La configuración geométrica y condiciones en que opera el equipo de chancado tienen una importancia notable en cuanto al rendimiento.

- a. Factores del molino del cono**

- a.1 Abertura de entrada:** el tamaño con el que se regula la alimentación de entrada en la cámara de chancado está en función del tamaño máximo del agregado que entra.

- a.2 La abertura de salida:** está en función del tamaño máximo requerido del agregado a ser utilizado, según las especificaciones técnicas del proyecto. Estas medidas se calibran en la cámara de control mediante un sistema hidráulico que permite modificar la abertura de los canales de entrada y salida de los agregados triturados.

El material de ingreso debe estar correctamente repartidos alrededor de la cámara de trituración para evitar producir materiales lajosos que no cumplan con la calidad exigida en los proyectos. Esto requiere que se trabaje con el molino a cámara llena, por lo cual se debe mantener un adecuado caudal de alimentación en el ingreso de material al molino. La siguiente figura muestra el sistema de ajuste que se realiza en la cámara de chancado, indicando el modo de chancado de los materiales de ingreso.

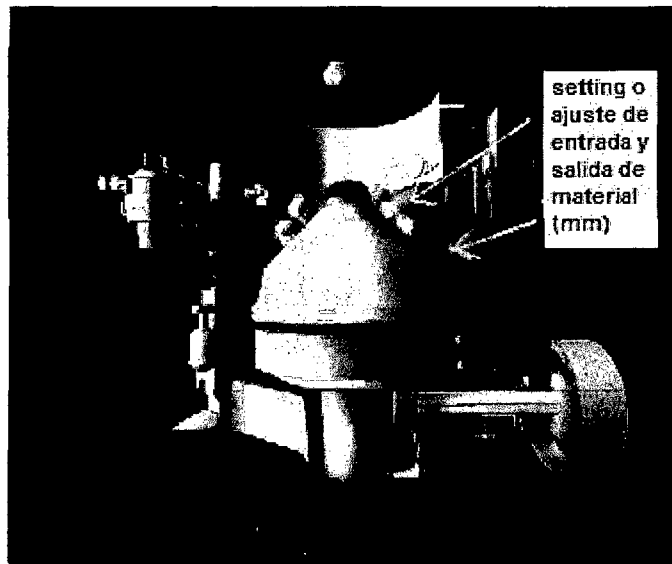


Fig.3.7 Ajuste hidráulico de las aberturas de entrada y salida de material  
(Fuente: Video Manual chancadora modelo Nordberg 200HPS)

## b. Factores de la zaranda vibratoria

**b.1 Fijación de las mallas en la cámara de zarandeo:** Para asegurar la producción continua de los agregados se deberá fijar las mallas con pernos de sujeción en los bordes de la cámara de zarandeo. De este modo el zarandeo será continuo y evitará paradas de trabajo por motivos de ajustes o cambio de elementos de sujeción y/o anclajes de las mallas. Así mismo, estos elementos deben ser los originales autorizados por el fabricante.

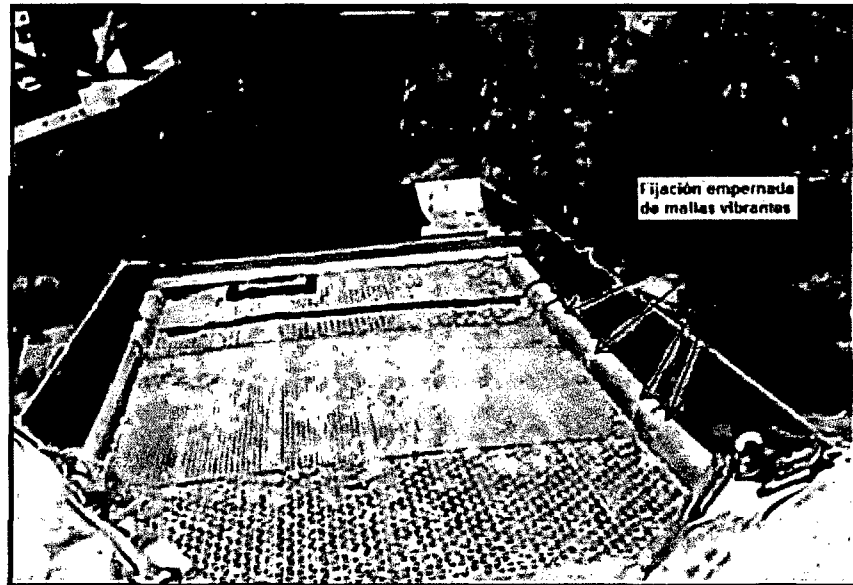


Foto 3.12 Ajuste de mallas con pernos de fijación en los extremos de zaranda vibratoria (Fuente propia)

**b.2 Nivel de vibración de la zaranda:** La vibración de la zaranda se da por medio de un contrapeso que se balancea de un lado a otro según la fotografía siguiente.

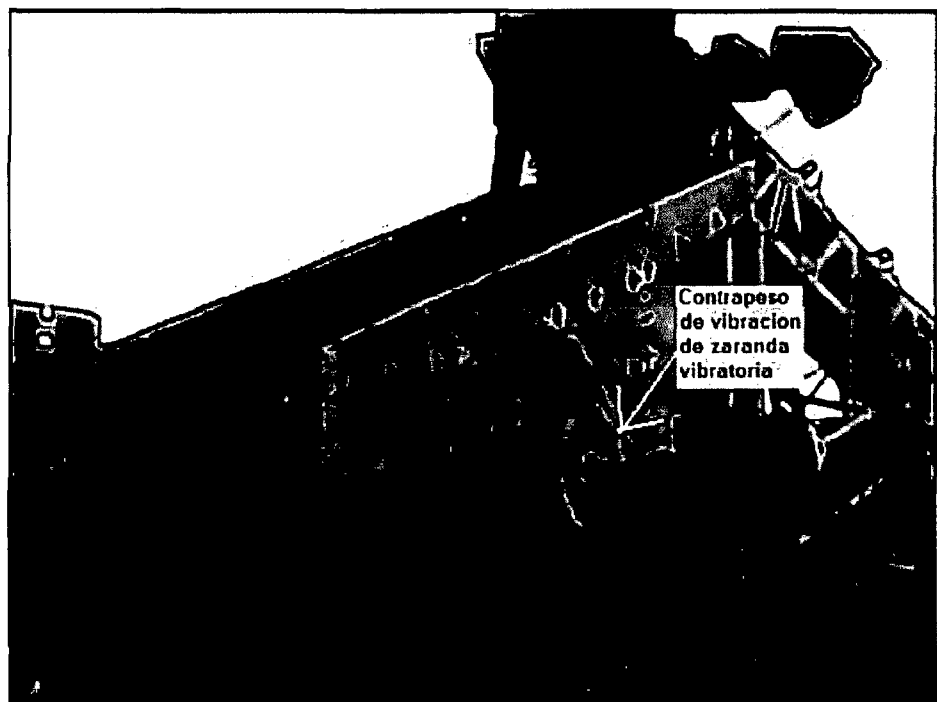


Foto 3.3 Contrapeso de vibración de zaranda vibratoria (Fuente propia)

No es recomendable un excesivo nivel de vibración, ya que se tendría un alto contenido de material re-circulante en el circuito zaranda molino de chancado.

Por otra parte un bajo nivel de vibración disminuirá significativamente el zarandeo efectivo, ya que se formará un colchón de material en la malla superior de la zaranda vibratoria. Los niveles de vibración en la zaranda vibratoria se ajustan de acuerdo a la

siguiente tabla en función del posicionamiento del contrapeso. El ajuste establecido en la zaranda vibratoria de las plantas inspeccionadas eran de 70% (Km 276+350) y 80% (Km 338+700).

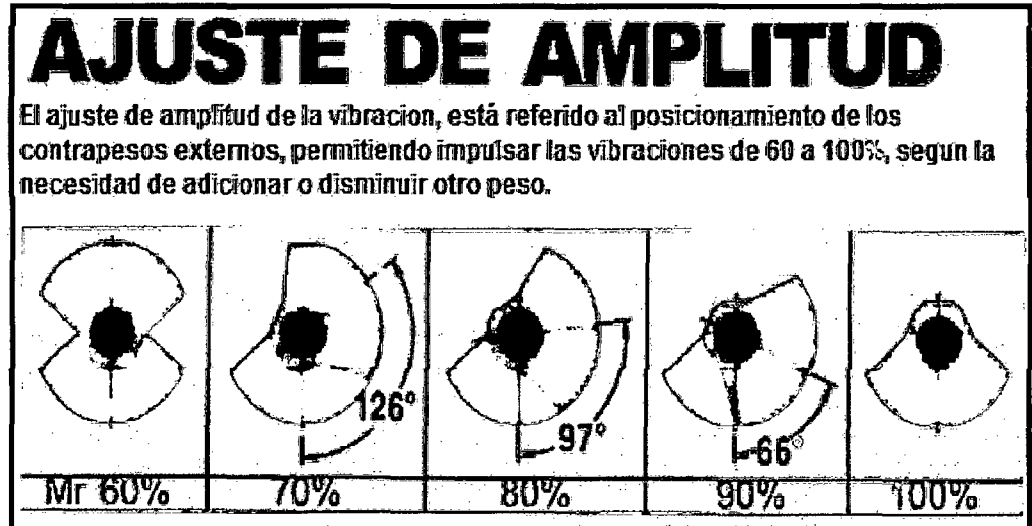


Tabla 3.6 Fijación de la vibración sobre las mallas según posición angular respecto a la vertical  
(Fuente: Manual Metso Minerals Modelo NW 200HPS)

### c. Configuración estructural para la alimentación Zaranda-Molino

La alimentación del material a triturar que proviene de las mallas de la zaranda vibratoria, se muestran en las siguientes figuras. En estos gráficos se puede diferenciar los niveles de alimentación del molino de cono a través de las mallas de la zaranda vibratoria. Los gráficos pertenecen a la configuración establecida en las plantas inspeccionadas para el desarrollo de este trabajo.

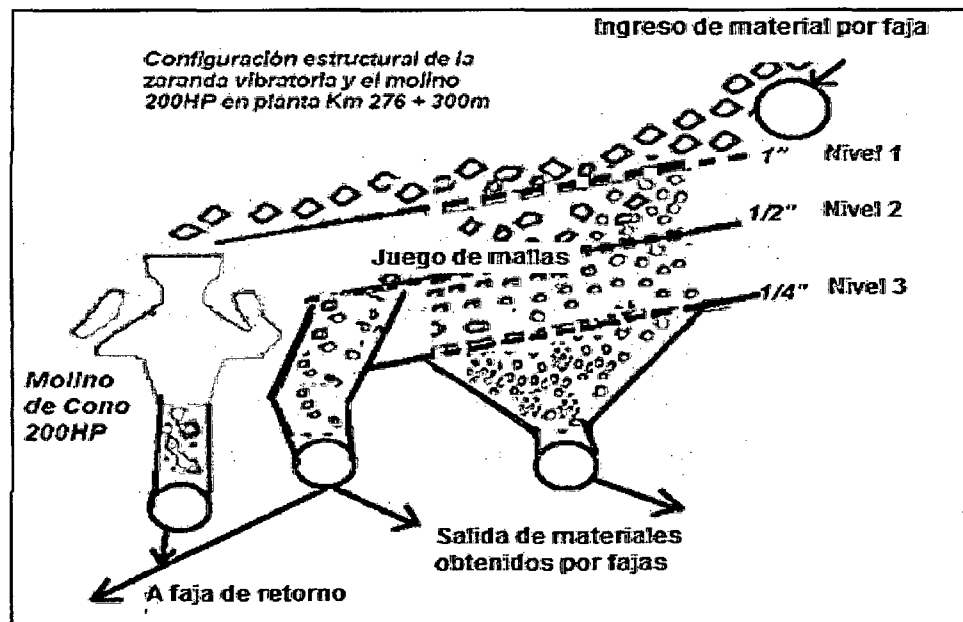


Fig.3.8 Configuración estructural de alimentación del molino de cono en planta Km 276+350  
(Fuente propia)

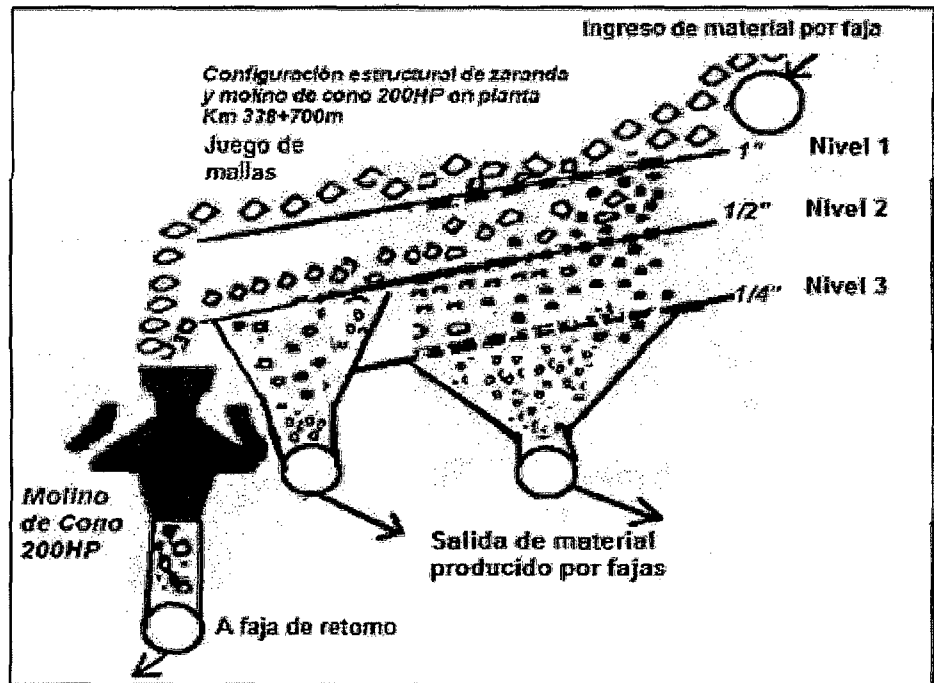


Fig.3.9 Configuración estructural de alimentación del molino de cono en planta Km 338+700  
(Fuente propia)

Los esquemas mostrados, indican el número de mallas que sirven para alimentar al molino de cono. Para el primer caso la alimentación se da del material que retiene el primer nivel de mallas, mientras que en el segundo caso, el molino recibe la alimentación del material retenido en dos niveles de malla, permitiendo de este modo incrementar los volúmenes de material aprovechable para el chancado, trabajando el molino con mayor capacidad de llenado.

- **CIRCUITO DE TRABAJO EN EL PROCESO DE CHANCADO**

El circuito que se establece para llevar consigo el proceso de chancado, muestra la distribución de los recursos empleados en este proceso. Un circuito bien establecido, permite abastecer continuamente al material que se desea chancar. Para ello se muestran los circuitos de producción establecidos en las plantas de agregados inspeccionados mediante gráficos lineales, uno de los cuales servirá para modelar un diagrama de red mediante la metodología CYCLONE para describir las actividades que se desarrollan en plantas de agregados típicas, para de esta manera poder juzgar los recursos que pueden ser mejor empleados, al identificar puntos críticos como las esperas, de acuerdo al modelo CYCLONE, que se presenta en el capítulo 4.

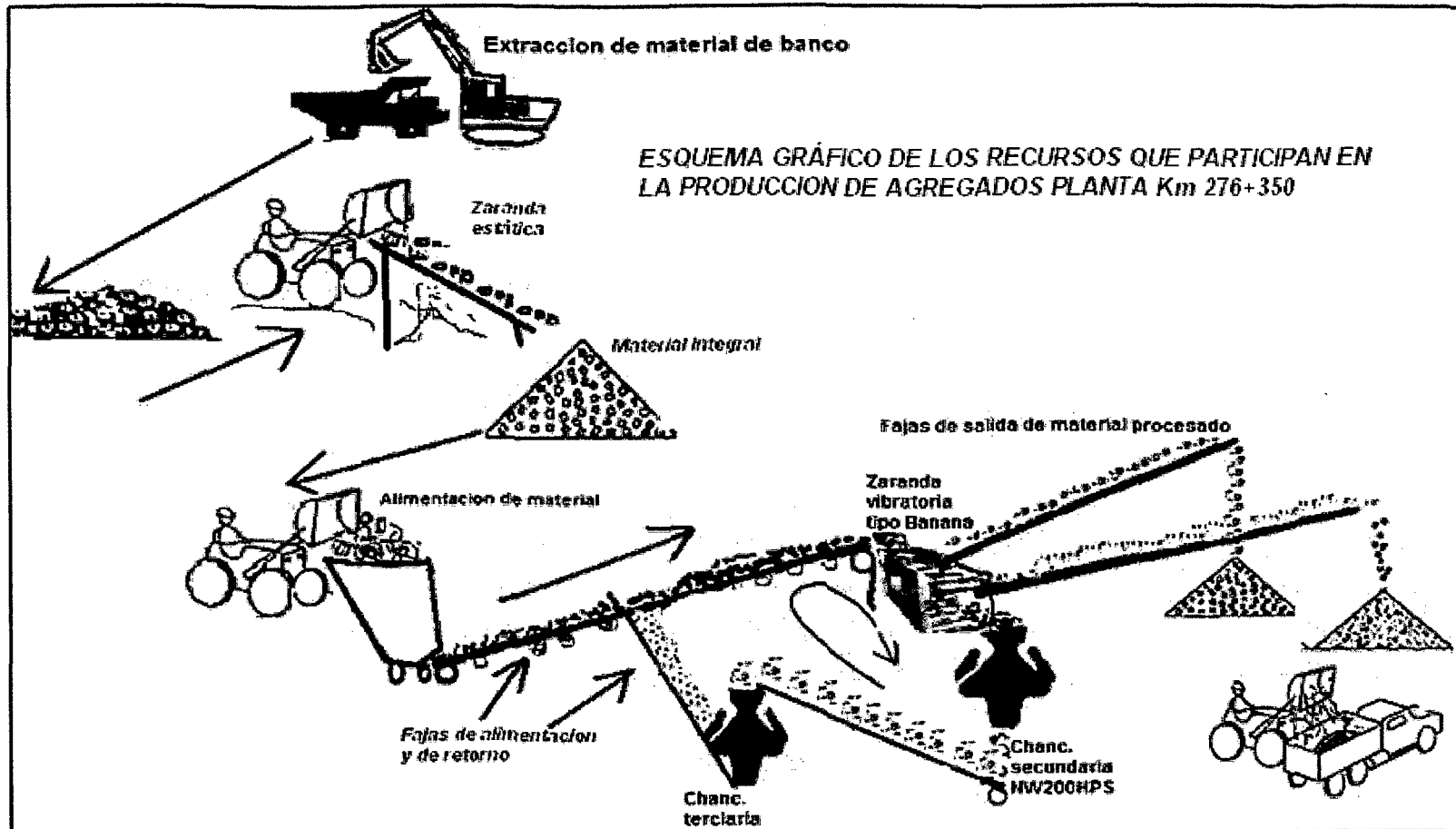


Fig.3.10 Esquema de trabajo de las unidades de producción en planta chancadora Km 270+350 (Fuente propia)

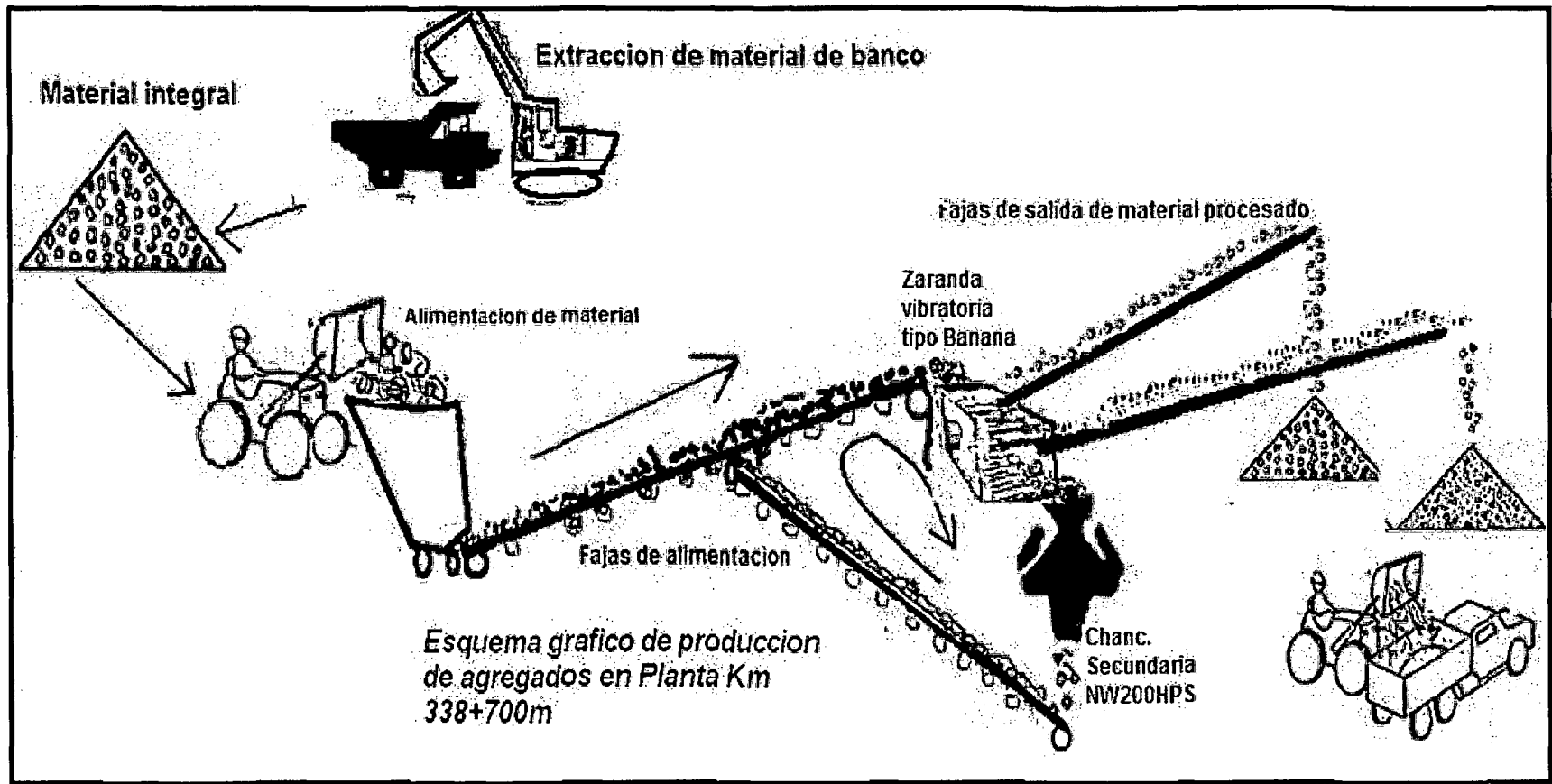


Fig.3.11 Esquema de trabajo de las unidades de producción en planta chancadora Km 338+700 (Fuente propia)

• **SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS FACTORES MAS INCIDENTES EN EL RENDIMIENTO DE PRODUCCION DE AGREGADOS**

En esta parte, se muestra el análisis cualitativo de 5 factores influyentes en el rendimiento de producción de agregados con el uso de la planta chancadora móvil modelo NW200HPS. Los mismos que serán modelados en el siguiente capítulo, con los datos de producción registrados en campo.

**Factor 1 (F1): Disponibilidad Granulométrica:** Mediante la distribución granulométrica del material que ingresa al circuito de chancado, se puede determinar la disponibilidad natural del mismo para con el tamaño de material que se requiere obtener por la trituración. El ejemplo que viene a continuación explica mejor este criterio, para ello se utiliza la siguiente tabla granulométrica.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
12"	279.400				100.0
10"	254.000	18892	6.1	6.1	93.9
9"	228.600	14500	4.7	10.8	89.2
8"	203.200	11344	3.7	14.4	85.6
7"	177.800	8248	2.7	17.1	82.9
6"	152.400	7456	2.4	19.5	80.5
5"	127.000	9258	3.0	22.5	77.5
4"	101.600	10445	3.4	25.8	74.2
3"	76.200	18208	5.9	31.7	68.3
2 1/2"	63.500	10576	3.4	35.1	64.9
2"	50.800	21248	6.8	42.0	58.0
1 1/2"	38.100	16688	5.4	47.3	52.7
1"	25.400	23132	7.5	54.8	45.2
3/4"	19.000	16888	5.4	60.2	39.8
1/2"	12.700	18488	6.0	66.2	33.8
3/8"	9.500	9244	3.0	69.2	30.8
1/4"	6.300				
Nº 4	4.750	17084	5.5	74.7	25.3
Nº 8	2.360	17110	5.5	80.2	19.8
Nº 10	2.000				
Nº 16	1.190	16041	5.2	85.4	14.6
Nº 20	0.840				
Nº 30	0.600	11229	3.6	89.0	11.0
Nº 40	0.425				
Nº 50	0.300	9624	3.1	92.1	7.9
Nº 80	0.177				
Nº 100	0.150	6149	2.0	94.1	5.9
Nº 200	0.075	3609	1.2	95.2	4.8
< Nº 200	FONDO	14838	4.8	100.0	

F1  
(Gravilla ≤ 1/2") = 8.5/74.2 = 0.1

33.8 - 25.3 = 8.5

Tabla 3.7 Análisis granulométrico del material de ingreso (Fuente propia)



Si el material a producir es gravilla de tamaño menor o igual a 1/2" con una combinación de arena menor o igual a 1/4" de tamaño promedio, el porcentaje de material aprovechable en gravilla  $\leq 1/2"$ , será la diferencia del porcentaje pasante en la malla 1/2" y el pasante en la malla 1/4" (Diferencia de porcentajes pasantes en malla 1/2" y 1/4", o su equivalente de la n°4 de color rojo en tabla 3.7). Para el caso de producir arena menor o igual a 1/4" con una combinación de gravilla menor o igual a 1/2" el porcentaje aprovechable para la arena  $\leq 1/4"$ , será el porcentaje pasante en la malla 1/4" o su equivalente de n°4. Para el caso de cuantificar el porcentaje aprovechable para la producción total de gravilla  $\leq 1/2"$  y arena  $\leq 1/4"$ , éste será el porcentaje pasante en la malla que corresponde al mayor tamaño requerido o a su equivalente más próximo.

El factor 1 relaciona el porcentaje de material aprovechable según el tamaño requerido, y el porcentaje pasante en la malla que corresponde al tamaño máximo de ingreso de agregado al circuito de chancado, para este ejemplo, el porcentaje pasante en la malla del tamaño 4" (es decir los materiales de ingreso menores o iguales a 4" de diámetro). Para el ejemplo de la curva granulométrica de la tabla 3.7, se tiene como factor **F1 de la gravilla 1/2"** =  $(33.8-25.3) / 74.2 = 0.11$ .

Un valor grande de F1, indica que el material que ingresa al circuito de chancado es favorable para obtener una buena cantidad de material requerido.

**Factor 2 (F2): Humedad con Finos (H/F):** Efecto de la plasticidad del material que satura (cierra) los agujeros de las mallas de la zaranda vibratoria, disminuyendo significativamente los rendimientos de producción. Esto mayormente se da cuando la proporción de humedad es menor que el contenido de finos (ver Foto 3.9). Si de lo contrario, se induce a un incremento de la humedad, mediante un sistema de lavado, este procedimiento favorece al rendimiento, ya que se expulsa a los finos hacia abajo de la zaranda (Ver Foto 3.11).



Foto 3.14 Saturación de mallas por presencia de humedad con finos (Fuente propia)

**Factor 3 (F3): Número de mallas alimentadoras del molino de cono:** El caudal de alimentación del material de ingreso hacia el molino de cono, no sólo tiene que ver con la capacidad de producción de la planta, también influye directamente en la calidad del material a obtener, ya que en obras viales, se requiere un nivel adecuado de angulosidad de material, que no sea lajoso ni redondeado en su superficie. La forma como se lleva la alimentación del molino a través de las mallas, se aprecia en las figuras 3.8 y 3.9.

**Factor 4 (F4): Nivel de abrasión del material a chancar:** La abrasión del material de ingreso, representado por el porcentaje de desgaste que sufre el material integral al ser sometido a una fricción continua en el ensayo Los Ángeles nos dice que tan exigente es el chancado del material de ingreso cuando es sometido al chancado por fricción continua en el molino de la chancadora. Mientras el material es más desgastable, es favorable para incrementar el rendimiento del chancado.

**Factor 5 (F5): Nivel de vibración de las mallas de la zaranda:** La vibración de las mallas de la zaranda vibratoria, se da mediante un motor de 30 HP instalado en un eje transversal de la zaranda (Ver foto 3.3). El ajuste de este factor se da mediante la ubicación del contrapeso a los largo del eje vertical, tal como se aprecia en la tabla 3.6. Se debe mantener un nivel de vibración intermedio, ya que un excesivo nivel de vibración ocasionaría material re-circulante en el circuito zaranda-molino, de otro lado un bajo nivel de vibración, ocasionará un colchón de material en la zaranda

vibratoria, que disminuya la capacidad de zarandeo de la misma. Se recomienda realizar el giro del motor en la misma dirección de la alimentación de las fajas. Analizando cualitativamente los factores influyentes con el rendimiento de producción de los agregados, se muestra la siguiente tabla relacional.

		Análisis cualitativo de los factores vs porcentaje de Rendimiento teórico	
Nombre:	Factor asociado	Sentido de aumento	R (t/h)
Granulometría	F1	↑	↑
Humedad con finos	F2	↑	↑
Numero de alimentadores	F3	↑	↑
Abrasion	F4	↑	↑
Vibracion	F5	↑	Depende de F2

Tabla 3.8 Relación de variación del rendimiento con los factores influyentes (Fuente propia)

Esta relación, se basa principalmente en la experiencia de campo. Para determinar dicha relación, se tomó el criterio de juicio de expertos, para lo cual se llegó a un consenso entre los operadores, ingenieros y técnicos relacionados a los trabajos con plantas chancadoras. En el capítulo 4 se modelan estos factores, para poder utilizar cuantitativamente la relación cualitativa mostrada anteriormente.

### 3.6 CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS EN PLANTA

El control de calidad, se controla desde la etapa en que el material está como material integral de cantera, hasta el momento que se obtienen agregados triturados por el proceso de chancado. Para estos efectos los controles aplicables a los agregados son:

- **Control de abrasión del material Integral (ASTM C-131):** La abrasión, mide la resistencia que tendrá el material al ser sometido al desgaste, por las cargas vehiculares que pasaran sobre el pavimento de la vía donde se va colocar el agregado producido.

Abrasión del material integral en cantera Km 276+350, Ver anexo 1

Abrasión del material integral en cantera Km 338+700, Ver anexo 2

Se acepta un máximo tolerable del desgaste de los Ángeles de 40%.

- **Durabilidad de los Agregados con Sulfato de Magnesio (ASTM C-88):** Este ensayo, simula la resistencia del agregado, al ataque químico producido cuando está sometido a la intemperie (intemperismo) del ambiente donde se coloca.

Durabilidad del material integral en cantera Km 276+350, Ver anexo 3

Durabilidad del material integral en cantera Km 338+700, Ver anexo 4

- **Granulometría de los agregados:** El análisis granulométrico del material a procesar nos indica el porcentaje aprovechable de los tamaños predominantes en la muestra. Mientras que la granulometría del agregado obtenido nos proporciona información referente al cumplimiento de la gradación especificada para los agregados a utilizar en el pavimento de la vía.

La granulometría del material de ingreso al circuito de chancado en la planta del Km 276+350 se observa en el anexo 5

La granulometría del material de ingreso al circuito de chancado en la planta del Km 338+700 se observa en el anexo 6.

Los agregados obtenidos de acuerdo a la especificación requerida son controlados de la siguiente manera:

Para la gravilla  $\leq 1/2"$ , utilizada como monocapa tipo B, se utiliza la gradación representada en el anexo 7.

Para la gravilla  $\leq 3/8"$ , utilizada como monocapa tipo C, se utiliza la gradación representada en el anexo 8.

Por último para controlar la gradación de la arena Slurry  $\leq 1/4''$ , se controla según la gradación granulométrica representada en el anexo 9.

### 3.7 CONTROL DE LA SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE LA PLANTA CHANCADORA

Los trabajos que se realizan en la planta chancadora son de alto riesgo por ser un proceso tecnificado donde intervienen maquinarias y/o equipos que pueden ocasionar accidentes discapacitantes o fatales. Por ello se monitorea las acciones del personal que participa en la zona con un plan de acción frente a los riesgos que se tengan en planta.

Una de las técnicas usadas para monitorear el efecto y las acciones a tomar frente a los riesgos que se presentan, es elaborando matrices de doble entrada, donde se puedan clasificar el nivel de riesgo al realizar una actividad determinada. En las siguientes matrices, se identifica los riesgos y el monitoreo de los peligros encontrados en las plantas chancadoras.

Para la primera matriz, los riesgos se han clasificado en tres niveles como:

**A** = Alto riesgo

**M** = Riesgo con un Nivel medio moderado

**B** = De bajo nivel de riesgo

En la segunda matriz se identifican los peligros potenciales y las acciones a tomar en consideración para contrarrestar los efectos de los mismos, interactuando para ello con el personal clave en la obra, así como la documentación que respalda los procedimientos para cada actividad realizada.

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y NIVEL DE RIESGOS EN LAS  
OPERACIONES DE LA PLANTA CHANCADORA

ACTIVIDAD \ RIESGOS	Alta presión	Atrapamiento	Atropellos	Ahogamiento	Caidas de objetos	Caidas a desnivel	Caidas a nivel	Condición climática adversa	Contacto con energía eléctrica	Contacto con sustancias nocivas	Contacto con T° extremas	Cortes	Choqueos	Derrumbes	Ergonómicos	Exposición a agentes biológicos	Explosión	Golpes	Inhalación de sustancias nocivas	Incendio	Proyección de partículas	Psicosociales	Radiación	Ruidos	Sobre esfuerzos	Stress psicológico	Tormentas eléctricas	Vibraciones	Voladuras		
	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>																														
Movilización y desmovilización de equipos			B										B							B											B
Izaje (carga y descarga de Partes)	M	M		A	A	B	B				A			M	B		B				B				B	M				B	
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>																															
Conformación de Terraplén			B		B	B	B			B		M		B	B		M			B	B			M		M			B		
<b>ENSAMBLAJE</b>																															
Preparación de Partes de Chancadora		M	B			B	B	B			B	M	B		M	B		M			B	B			B	M	M				
Excavaciones		M			B	M	B	B			B	M		M	B	B		B			B	B				B	B				
Relleno para estructuras		M			B	M	B	B			B	M		M	B	B		B	B		B	B				B	B				
Encofrado y desencofrado		B	B		B	M	B	B				B		A	B	B		M			B	B				B					
Instalaciones eléctricas		B			B	B	B	B	M		B	M			M	B		M			B	B				M	M				
Ensamblaje de partes menores		B			B	A	B	B	A		M	M			M	B		M		M	M	B			M	M	M			B	
<b>PUESTA EN MARCHA</b>																															
Pruebas e inicio de Producción		A	B		M	A	B	B	A		M	B	B			B	B	M	B	A	M	M	B		A		M		M		

**LEYENDA**  
NIVEL DE RIESGO 

A	M	B
---	---	---

Tabla 3.9 Valoración de los riesgos presentes en las actividades realizadas en planta chancadora

Fuente: PdR y GA-GyM S.A.- Aymaraes 2009

## MATRIZ DE CONTROL OPERACIONAL EN PLANTA CHANCADORA

CONTROL OPERACIONAL				
PELIGROS	MEDIDAS PREVENTIVAS	CRITERIOS DE APLICACION	PUESTO CLAVE	DOCUMENTO QUE DESCRIBE LA ACTIVIDAD
Atrapamiento	Ubicar la carga adecuadamente. Esta completamente prohibido viajar junto a la carga.	Antes de la movilización	Ing. de planta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estándar Izaje de cargas</li> <li>2. Estándar de vehículos motorizados y transporte</li> <li>3. D.S. 033-2001-MTC Reglamento de Tránsito</li> </ol>
	Verificar y estudiar la ruta a seguir	Antes de la movilización		
	Ejecutar la lista de verificación de equipos	Antes de la movilización		
	Colocación de Guardas	Verificar Partes en Movimiento		
	Delimitación y Señalización de Área de trabajo	Antes del inicio de actividades		
	Uso de EPI's	Al realizar actividades EPI necesario		
Atropellos	Empleo de conductores expertos y con conocimientos de sistemas preventivos de seguridad vial	Seleccionados previo examen técnico del área mecánica	Ing° de área mecánica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estándar prevención de riesgos viales</li> <li>2. Estándar transito en vías y trochas no pavimentadas</li> <li>3. D.S. 033-2001-MTC Reglamento de Tránsito</li> </ol>
	Limites controlados de velocidad	Teniendo en cuenta la reglamentación de velocidad por sectores del MTC	Conductor	
	Utilización de un vehículo guía	Para el control de la velocidad y alerta a peatones y demás vehículos.	Ing. de planta	
	Uso de señalización para carga ancha, delimitación y señalización de accesos	Implementar banderines, carteles informativos		
Caídas de objetos	Aseguramiento del material o carga a movilizar	La carga debe colocarse de base al piso.	Ing. de planta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estándar de vehículos motorizados y transporte</li> </ol>
	Los equipos que sean transportados por camas bajas, deben tener las eslingas ubicados en los anclajes respectivos, asegurarse con el uso de tacos en las ruedas.	Las ruedas de los equipos a transportar deben ser desinfladas antes de la partida		
	Uso de EPI's	Al realizar actividades EPI necesario		

Caídas a nivel	Cada zona de trabajo deberá de permanecer limpia y ordenada, manteniendo pasillos de circulación los mismos que tendrán el ancho suficiente para permitir el paso del personal en general así como de la brigada de emergencias.	Durante la etapa de descarga de los equipos	Ing. de planta	1. Estándar de izaje de cargas
Condiciones climáticas adversas	Estar alertas a las condiciones climatológicas del entorno, uso de EPI's Uniforme Manga Larga	Si se presentase estos impases, es preferible detener la marcha, estacionarse a un lado de la vía y guarecerse.	Conductor	
		Paralizar labores en la zona de trabajo	Ing. de planta	
Choques	Límites de velocidad controlados	Durante toda la jornada	Conductor	1. Estándar prevención de riesgos viales 2. D.S. 033-2001-MTC Reglamento de Tránsito.
	Delimitación, señalización de área de trabajo Designar un Capitán Cuadrador de Equipos, Vehículos	Antes de iniciar labores	Ing. de planta	
Golpes	Evitar en lo posible tener contacto físico con los equipos a descargar	Utilizar el EPI básico	Ing. de planta	1. OSHAS 1926.20 a OSHAS 1926.29
	Uso de EPI's	Al realizar actividades EPI necesario		
Psicosociales	Evitar en lo posible interactuar con personas ajenas al proyecto	Limitarse a ejecutar su trabajo evitar controversias	Todo el personal	
Ruidos	Uso de protectores auditivos	Si sobrepasa los 85 dB	Todo el personal	1. OSHAS 1926.101
Tormentas eléctricas	Capacitar al personal en técnicas tormentas eléctricas. Alejarse de elementos metálicos, árboles, ríos y lagunas.	Si se presentase estos impases, es preferible detener la marcha, estacionarse a un lado de la vía y guarecerse.	Todo el personal	
Volcaduras	Empleo de conductores expertos y con conocimientos de sistemas preventivos de seguridad vial	Licencia de manejo categoría A-2 (mínimo) y cursos de Manejo defensivo dictado en obra.	Conductor	1. Estándar prevención de riesgos viales 2. Estándar tránsito en vías y trochas no pavimentadas 3. D.S. 033-2001-MTC Reglamento de Tránsito
	Límites controlados de velocidad	Durante toda la jornada	Conductor	
Exposición a Agentes	Acceso Restringido a zona con peligro de Contaminación, No Consumir ni usar Aguas de ríos, no acercarse a lugares donde existan animales ponzoñosos	Durante toda la jornada	Ing. de planta	



<b>Biológicos</b>				
<b>Explosión</b>	Uso de EPI's	Al realizar actividades EPI necesario	Ing. de planta	
	Equipos de Oxicorte y Soldadura Eléctrica alejados entre sí	Durante toda la jornada		
<b>Inhalación de Sustancias Nocivas</b>	Uso de EPI's	Al realizar actividades EPI necesario	Ing. de planta	
	Rotulación de envases que contienen Materiales Peligrosos	Antes del inicio de Actividades		
	Colocación a la vista de Hojas de Seguridad MSDS, de Materiales usados			
<b>Incendios</b>	Eliminar elementos combustibles	Antes del inicio de Actividades	Ing. de planta	
	Señalización de la Zona, rutas de escape	Antes del inicio de Actividades		
	Contar con Extintores con la capacidad necesaria en la zona	Antes del inicio de Actividades		
<b>Stress Psicológico</b>	Coordinar con Administración actividades deportivas y sociales	Durante las actividades de la obra	Ing. de planta	

Tabla 3.10 Matriz de prevención de riesgos laborales en planta chancadora  
Fuente: PdR y GA-GyM S.A.- Aymaraes 2009

### 3.8 CONTROL MEDIOAMBIENTAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN PLANTA DE AGREGADOS

Ver matriz adjunta, en la tabla 3.11

3.8 CONTROL MEDIOAMBIENTAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN PLANTA DE AGREGADOS

TEMAS ACTIVIDADES	IMPACTOS AMBIENTALES															
	MEDIO FISICO							MEDIO BIOTICO							MEDIO ANTROPICO	
	SUELO		AIRE	AGUA		FLORA	FAUNA	TRABAJADOR	SOCIEDAD							
ASPECTOS AMBIENTALES	Alteracion de las propiedades fisicas	Agotamiento del yacimiento natural	Inicio de procesos erosivos	Emission de particulas contaminantes	Polucion sonora	Alteracion de calidad del agua	Aumento de particulas solidas	Escases de agua	Alteracion de vida de plantas silvestres	Alteracion de vida de peces y animales de la zona	Alteracion de la salud de los trabajadores	Generacion de oportunidades en la zona	Alteracion del ritmo de vida de pobladores de la zona			
	M	A	A						A							
	B	A					A					M	M			
					A						M		M	M		
						A							M	A		
					A				B		A		A	M		
		A	M				A	A	A	A	A		M	A		
				M	M	M	M	M	M	M	M					
		A	M		A	A	M	M	A	A	A		A	M		
				A	A	A	M	M	M	M	M		A	A		
		A			A	A	A	A	A	A	A		M	M		
					A								M	M		
					A								M	M		
					A				M	A		A	A			

A EFECTO ALTO B EFECTO BAJO M EFECTO MEDIO

Tabla 3.11 Matriz de identificacion de impactos medioambientales en zona planta de agregados

## CAPITULO 4 – DISEÑO Y RESULTADO DE EXPERIMENTOS CON LOS DATOS DE PRODUCCION MEDIDOS EN CAMPO

### 4.1 SIMULACION DEL PROCESO DE CHANCADO MEDIANTE DIAGRAMAS EN RED POR EL METODO CYCLONE

Los recursos empleados en la producción de agregados, son principalmente equipos de movimiento de tierra, como, excavadora hidráulica, volquetes, cargado frontal, junto con la chancadora y la zaranda vibratoria, descritos en el capítulo 3, dentro de las unidades de producción. Existe gran interés para los contratistas de obras de establecer un adecuado circuito de trabajo con estos equipos, para disminuir significativamente los tiempos de ocio de las maquinarias, que por una inadecuada distribución de los equipos se llegan a consumir gran parte de los recursos en horas maquina (HM), los cuales incrementan los costos de producción. Como una herramienta que permita monitorear las actividad de ocio o de productividad de estos recursos, se propone hacerlo con el diagrama descrito por el modelo CYCLONE (ver 2.5.), donde en base a 4 símbolos gráficos se pueda juzgar donde hay mayores posibilidades de ajustar los tiempos de operación de los equipos que participan en la producción de agregados, para disminuir los tiempos perdidos en hora maquina consumibles en la producción de agregados.

El modelo de red CYCLONE presentado a continuación se elaboró tomando en cuenta la configuración establecida para la planta chancadora ubicada en la progresiva Km 338+700 de la vía Interoceánica Sur Tramo I, descrita en la figura 3.11 del capítulo 3.

Se trazan los diagramas respectivos, para secuenciar el movimiento de los recursos (materiales y equipos), desde el momento en que el material integral es explotado de la cantera, hasta que es depositado en las zonas de acopio para su utilización final.

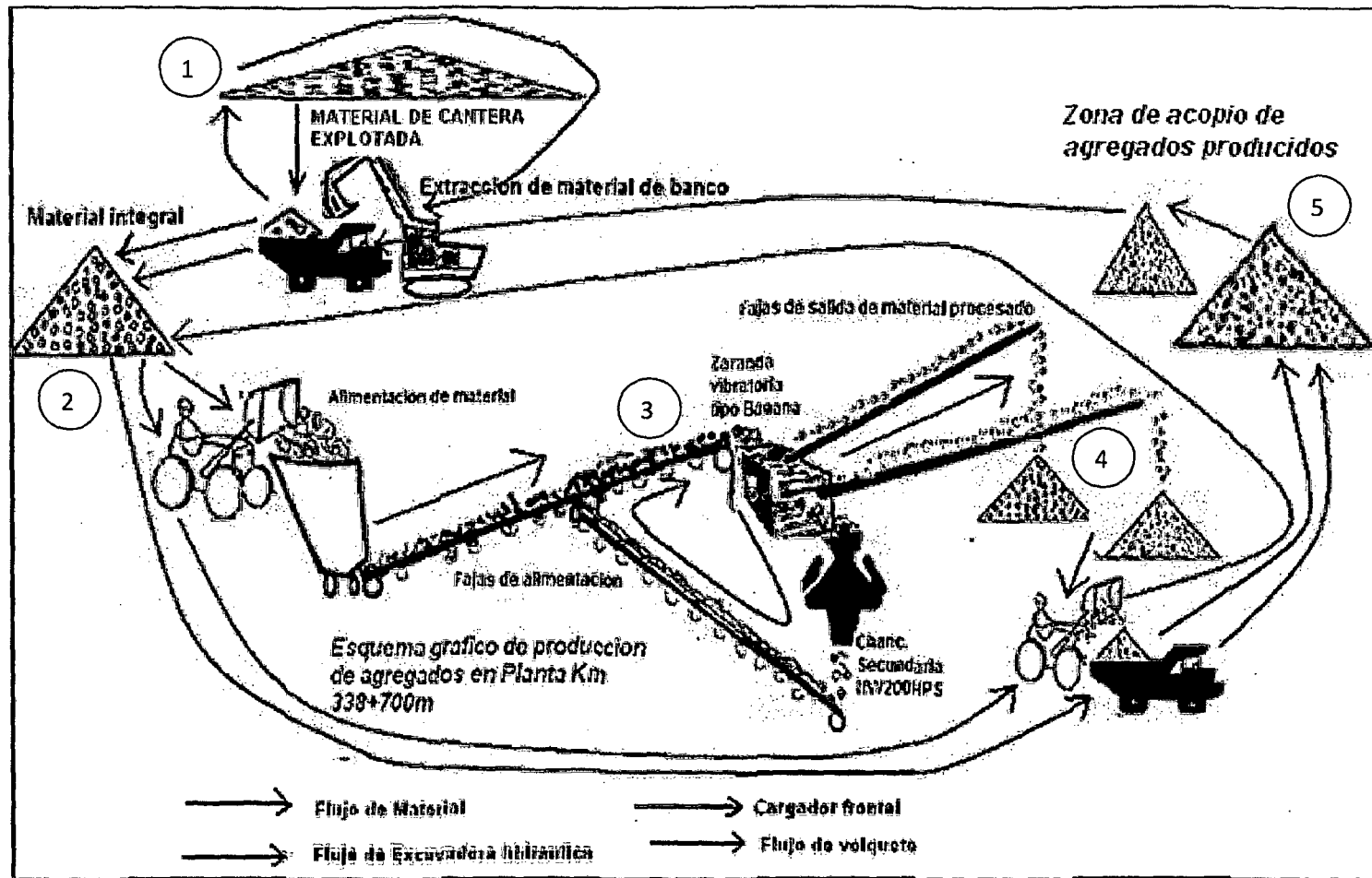


Fig.4.1 Esquema gráfico secuenciado del flujo de equipos en planta chancadora Km 338+700 (Fuente propia)

La simulación con el modelo CYCLONE de este esquema gráfico, se muestra a continuación.

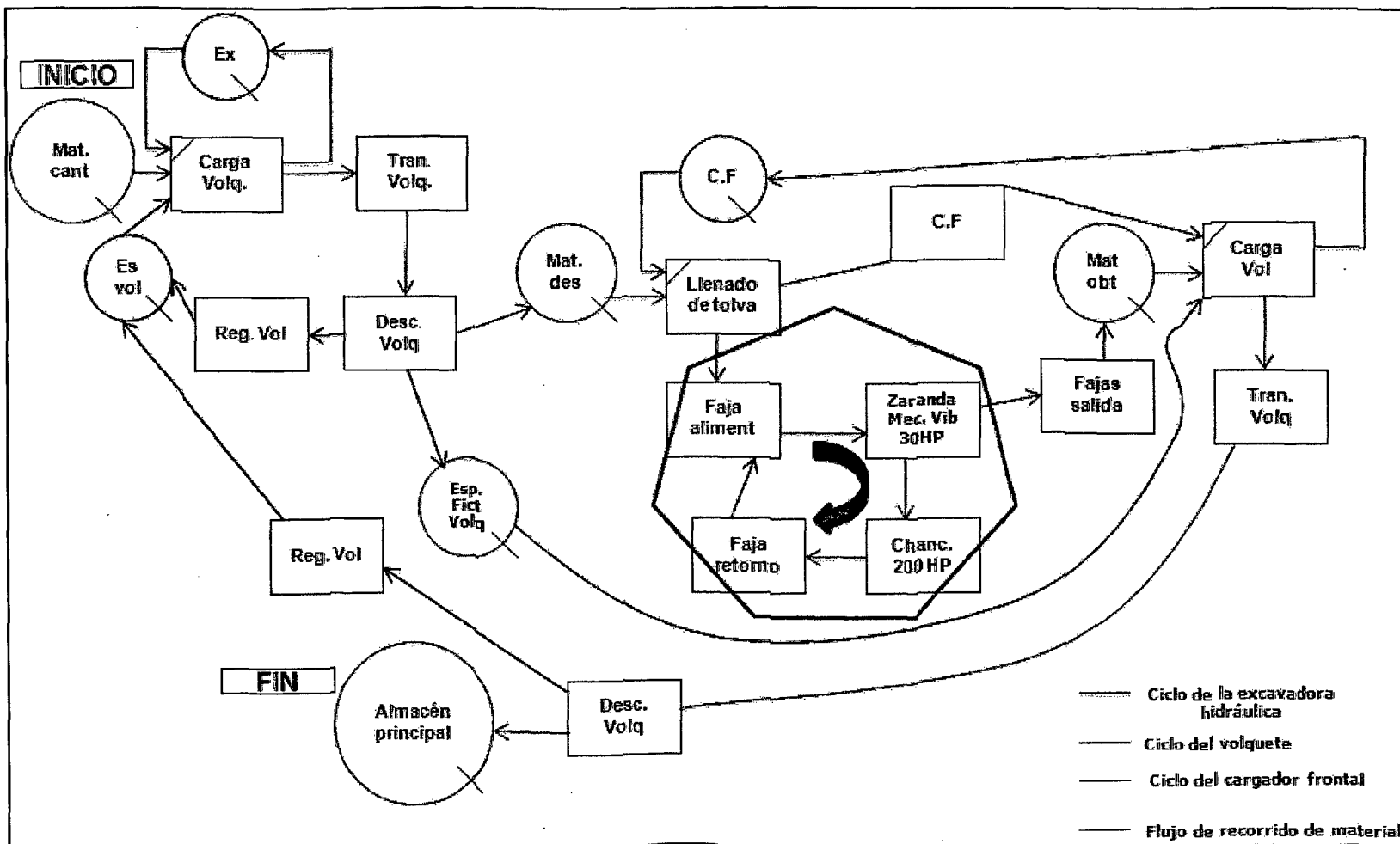


Fig.4.2 Diagrama de red CYCLONE de la interacción de los recursos que participan en planta la planta de agregados Km 338+700 (Fuente propia)

Los principales recursos, nombrados por sus iniciales son:

**Mat. Cant** = Material de cantera, es la materia prima que espera ser explotada por la excavadora hidráulica para luego ser trasformada en agregados triturados y zarandeados, según las especificaciones exigidas en el proyecto.

**Ex**= Excavadora hidráulica, con la cual se extrae la materia prima para el procesamiento de agregados. En momentos en que no existe volquete para cargar, este recurso tiene a esperar hasta que llegue un volquete para ser cargado con el material integral acumulado.

**Carga volq.** = El volquete que espera ser cargado, mientras la excavadora hidráulica realiza el trabajo de carga sobre este. El tiempo de espera depende del rendimiento de llenado de la excavadora hidráulica, que a su vez está relacionado con el estado y capacidad de la excavadora así como de la eficiencia del operador. También aplica al volquete que es cargado por el cargador frontal cuando transporta el material obtenido hacia las zonas de acopio.

**Tran. Volq.** = El volquete una vez cargado, lleva el material a la zona de chancado, no dependiendo esta actividad más que de sí mismo y del operador que lo maneja. También aplica al transporte de materiales obtenidos por el chancado hacia las zonas de acopio.

**Desc. Volq.** = El volquete una vez que transporta el material hasta la zona de descarga, deja el material listo para ser alimentado en el circuito de chancado. La descarga de material no supone espera alguna, para ello, se tiene que tener un guía de descarga en piso. También aplica a la descarga del material obtenido que se transporta hacia las zonas de acopio.

**Mat. des** = El material descargado espera hasta que se acumule cierta cantidad, para que mediante el cargador frontal (C.F), sea alimentado a la tolva de separación de over.

**C.F** =Cargador frontal, que espera al material que se acumule para luego llenar a la tolva de separación. Cuando el material que ingresa sale como material producido y es acumulado por las fajas de salida, el cargador frontal, realiza un recorrido hasta la zona de salida de material triturado para cargar el material de salida y alimentar a los volquetes hacia la zona de despacho.

**Llenado de tolva** = La tolva de separación del material apto para ingresar al circuito de chancado y el material over que no pasa el tamaño de los rieles de la tolva.

**Faja aliment** = La faja que recibe al material seleccionado por la tolva, realiza una actividad continua que no depende del estado de otros recursos, es decir que realiza su función, con o sin material integral por transportar.

**Zaranda Mec. Vib 30HP** = La zaranda mecánica vibratoria motorizada con 30 HP de potencia, realiza la función de zarandear por vibrado a los agregados que ingresan a su cámara interior. El funcionamiento de este recurso también ocurre con o sin la presencia del caudal suficiente del agregado a zarandear. Por ello la importancia de asegurar el caudal de ingreso del material zarandear, para no hacer uso improductivo de este recurso.

**Chanc. 200 HP** = Se refiere al molino de trituración o chancado, el cual convierte los tamaños de entrada menores a 4" en agregados de salida menores a 3/4". Permitiendo de este modo tener agregados de un tamaño trabajable para el zarandeo. Del mismo modo que los anteriores caso, el equipo de chancado permanece activo con o sin material por triturar, por ello nuevamente surge la importancia de mantener un caudal de alimentación adecuado para que este equipo no realice trabajo en vano.

**Faja retorno** = El material que es triturado en el molino de cono, es evacuado por esta faja, que lleva el material nuevamente a la faja de alimentación principal, para que sea zarandeado y separado según los tamaños adecuados (1/2", 1/4", 3/8").

**Fajas salida** = Son las fajas utilizadas para la evacuación del material seleccionado por las mallas de la zaranda vibratoria. Las fajas realizan el trabajo de transporte por medio de motores instalados en sus extremos que le dan transmisión a su movimiento circular. El funcionamiento de las fajas, se da con presencia o sin presencia de material por transportar, siendo necesario mantenerlo activo en algunas ocasiones por cuestiones de limpieza de fajas.

**Mat obt** = Zona donde se acumula el material procesado que son evacuados por las fajas de salida, de acuerdo a los tamaños que producidos. Estos materiales una vez evacuados por las fajas, esperan hasta tener cierto volumen para que puedan ser cargados a los volquetes mediante el cargador frontal y ser transportados a los almacenes de despacho también conocidos como zonas de acopio.

**Reg. Vol** = Es la actividad relacionado con el regreso del volquete hacia la zona de carga de material integral, reiniciando de esta manera el circuito.

**Es vol** = Espera del volquete en la zona de carga del material integral.



Para el circuito mostrado, se trabajó con 5 volquetes.

**Esp Fict Volq** =Es el tiempo ficticio de espera que se considera al tiempo que demora en acumularse cierta cantidad de material de salida, para que los volquetes del circuito de carga transporte y descarga de material integral, entren al circuito de carga transporte y descarga de material obtenido. Los volquetes que están en la zona de descarga del material integral en la zona de chancado, son utilizados para el transporte del material procesado, obtenido por el chancado y zarandeo.

#### 4.2 CANTIDAD DE AGREGADOS PRODUCIDOS EN VOLUMEN Y PESO CON CHANCADORA SECUNDARIA DE CONO

**Nota: CONTROL DE PRODUCCIÓN DIARIA EN VOLUMEN:** La métrica del material producido se hace en volumen, en unidades de metro cúbico ( $m^3$ ). El conteo del volumen se hace tomando como referencia la capacidad de  $3m^3$  del lampón del cargador frontal. Teniendo la misma capacidad los cargadores frontales usados en las plantas inspeccionadas. El registro del volumen producido de los agregados en ambas plantas se muestra más abajo:

**CONTROL DE PRODUCCIÓN DIARIA EN PESO:** Se hallan los Peso Unitarios Suelos (PUS en  $Ton/m^3$ ) del material procesado y obtenido, estos valores se multiplican por los volúmenes sueltos medidos en el control de producción en volumen. Obtenemos así con mayor exactitud el porcentaje aprovechable del material que ingresa al circuito de chancado y también nos permite comparar el rendimiento comercial especificado por el fabricante del equipo con el rendimiento real que se está obteniendo en planta, expresado en toneladas por hora (Ton/hr). El cálculo se realiza considerando la producción instantánea en toneladas por hora.

➤ **Producción en planta Km 276+350 (Escenario 1)**

**Combinación 1:** Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 1/2''$ , Producción del 10 de Junio al 25 Junio 2009 (Ver anexos 10, 11 y 12)

Fecha de producción	Horas de trabajo de chancadora NW200HPS	Producción arena $\leq 1/4''$ PUS=1.70 Ton/m <sup>3</sup>		Producción de gravilla $\leq 1/2''$ PUS=1.49 Ton/m <sup>3</sup>	
		M <sup>3</sup>	ton	M <sup>3</sup>	ton
10/06/2009	15.12	333	566.1	150	223.5
11/06/2009	15.94	320	544	160	238.4
12/06/2009	17.19	350	595	200	298
13/06/2009	17.89	360	612	215	320.35
14/06/2009	3.86	75	127.5	45	67.05
15/06/2009	15.17	415	705.5	230	342.7
16/06/2009	5.61	170	289	80	119.2
19/06/2009	7.01	240	408	87	129.63
20/06/2009	16.21	540	918	200	298
22/06/2009	13.26	525	892.5	175	260.75
23/06/2009	6.9	150	255	60	89.4
24/06/2009	17.88	355	603.5	180	268.2
25/06/2009	3	65	110.5	30	44.7

Tabla 4.2 Resumen de la producción registrada del 10 Junio al 25 Junio 2009 Planta Km 276+350 (Fuente propia)

**Combinación 2: Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 3/8''$ , del 27 Junio al 17 Julio 2009 (Ver anexo 13, 14 y 15)**

Fecha de producción	Horas de trabajo de chancadora NW200HPS	Producción arena $\leq 1/4''$ PUS= 1.72Ton/m <sup>3</sup>		Producción de gravilla $\leq 3/8''$ PUS= 1.58Ton/m <sup>3</sup>	
		M <sup>3</sup>	ton	M <sup>3</sup>	ton
27/06/2009	15.14	330	567.6	115	181.7
28/06/2009	3.69	120	206.4	30	47.4
29/06/2009	13.14	405	696.6	123	194.34
30/06/2009	14.71	430	739.6	152	240.16
01/07/2009	11.07	285	490.2	111	175.38
02/07/2009	11.92	210	361.2	123	194.34
03/07/2009	16.01	225	387	165	260.7
07/07/2009	13.57	255	438.6	140	221.2
10/07/2009	13.88	315	541.8	140	221.2
11/07/2009	15.61	285	490.2	163	257.54
13/07/2009	14.99	255	438.6	160	252.8
14/07/2009	13.39	255	438.6	147	232.26
15/07/2009	10.53	150	258	108	170.64
16/07/2009	14.01	285	490.2	159	251.22
17/07/2009	12.36	270	464.4	150	237

Tabla 4.3 Resumen de la producción registrada del 27 Junio al 17 Julio 2009 Planta Km 276+350 (Fuente propia)

**Diagrama de aprovechamiento de material integral en agregados utilizables en obra (Escenario 1, Km 276+350)**

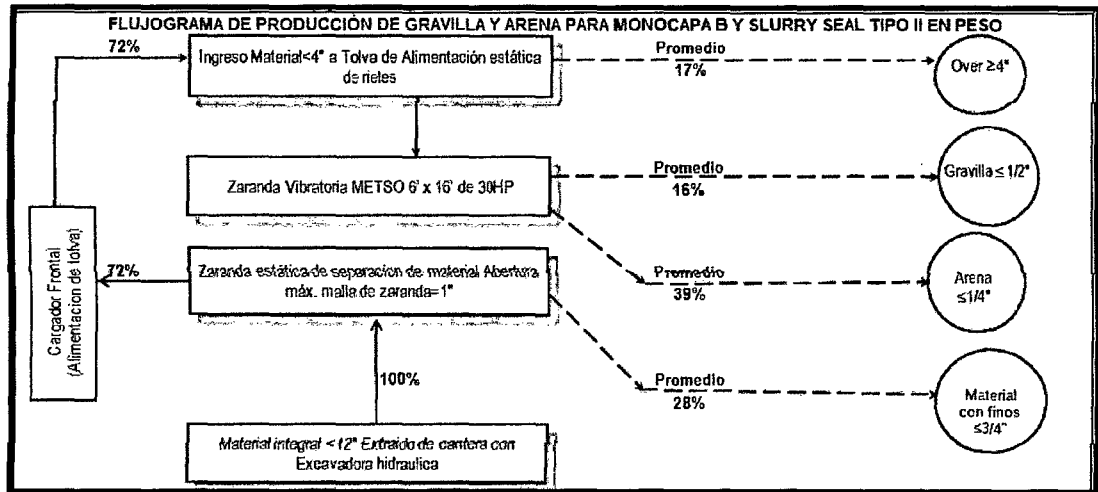


Tabla 4.4 Diagrama de aprovechamiento porcentual, del material triturado en Planta Km 276+350 (Fuente propia)

➤ **Producción en planta Km 338+700 (Escenario 2)**

**Combinación 2:** Arena  $\leq 1/4"$  y Gravilla  $\leq 3/8"$ , Producción obtenido del 20 de Mayo al 3 de Junio 2009 (Ver anexo 16, 17 y 18)

Fecha de producción	Horas de trabajo de chancadora NW 200HPS	Producción arena $\leq 1/4"$		Producción de gravilla $\leq 3/8"$	
		PUS= 1.70Ton/m <sup>3</sup>		PUS= 1.55Ton/m <sup>3</sup>	
		M <sup>3</sup>	ton	M <sup>3</sup>	ton
20/05/2009	3.04	95	162	35	54
21/05/2009	0.84	25	43	10	16
22/05/2009	4.95	156	265	60	93
23/05/2009	4.71	150	255	60	93
24/05/2009	3.05	90	153	40	62
25/05/2009	9.81	305	519	108	167
28/05/2009	6.43	195	332	80	124
29/05/2009	10.51	315	536	125	194
30/05/2009	7.79	240	408	95	147
31/05/2009	3.53	105	179	45	70
01/06/2009	8.33	255	434	100	155
02/06/2009	2.97	90	153	37	57
03/06/2009	8.13	255	434	93	144

Tabla 4.5 Resumen de la producción registrada del 20 Mayo al 03 Junio 2009 Planta Km 338+700 (Fuente propia)

**Combinación 1: Arena  $\leq 1/4"$  y Gravilla  $\leq 1/2"$ , Producción obtenida del 10 Junio al 25 de Junio 2009 (Ver anexo 19, 20 y 21)**

Fecha de producción	Horas de trabajo de chancadora NW 200HPS	Producción arena $\leq 1/4"$		Producción de gravilla $\leq 1/2"$	
		PUS= 1.70Ton/m <sup>3</sup>		PUS= 1.51Ton/m <sup>3</sup>	
		M <sup>3</sup>	ton	M <sup>3</sup>	ton
10/06/2009	2.83	117	198	50	76
11/06/2009	11.20	377	640	200	302
12/06/2009	5.92	198	337	100	151
17/06/2009	6.16	209	355	110	166
18/06/2009	6.44	219	373	112	169
19/06/2009	5.14	120	204	90	136
20/06/2009	5.55	120	204	90	136
22/06/2009	8.76	279	474	144	217
23/06/2009	3.86	120	204	66	100
24/06/2009	3.00	120	204	51	77
25/06/2009	4.55	184	313	77	116

Tabla 4.6 Resumen de la producción registrada del 10 Junio al 25 Junio 2009 Planta Km 338+700 (Fuente propia)

**Diagrama de aprovechamiento de material integral en agregados utilizables en obra (Escenario 2 Km 338+700)**

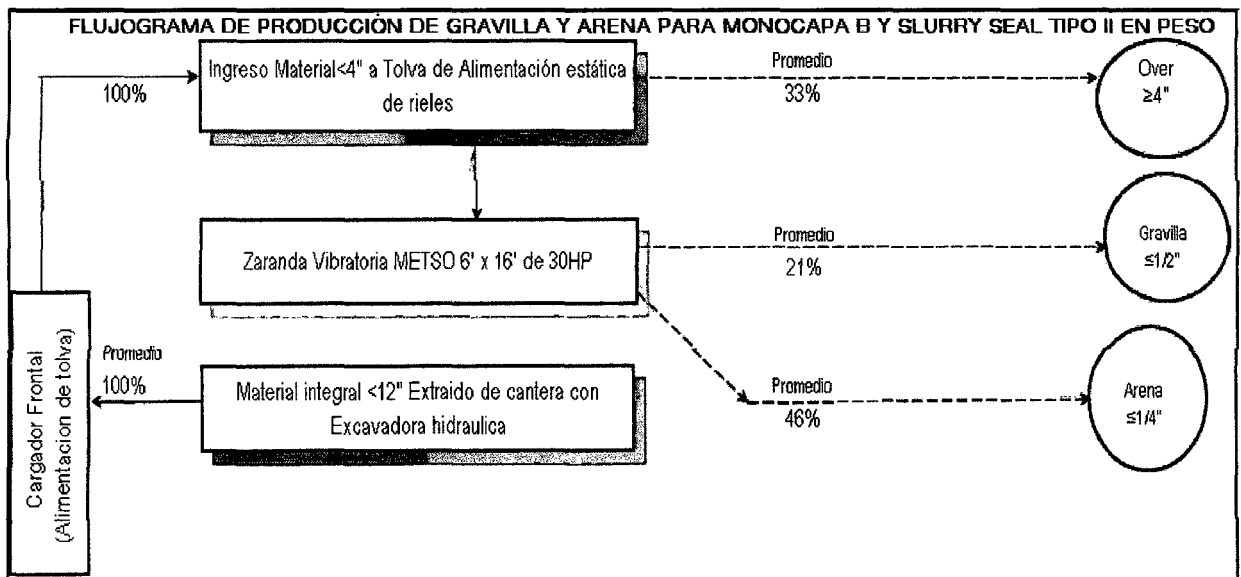


Tabla 4.7 Diagrama de aprovechamiento porcentual, del material triturado en Planta Km 338+700 (Fuente propia)

#### 4.3 RENDIMIENTOS REALES VS ESTIMADOS POR EL FABRICANTE DE CHANCADORA SECUNDARIA NW200HPS

**Nota:** El rendimiento de producción real de agregados con la chancadora analizada, lo expresamos en toneladas de agregado producido en una hora de procesamiento. Esta comparación obedece al rendimiento de producción ofrecido por el fabricante en toneladas por hora. De los datos de producción indicados en las tablas anteriores, se calculan los promedios, las desviaciones estándar de estos valores según las siguientes consideraciones.

$$\boxed{\text{Rend}(ton/h)\phi_i = \frac{\text{Produccion}(ton)\phi_i}{\text{horasdechancado}(h)}} \quad \text{Rendimiento de producción del agregado de tamaño } \phi_i \dots\dots \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$\boxed{\text{Rendprom}(ton/h)\phi_i = \frac{\sum \text{Rend}(ton/h)\phi_i}{N^{\circ} \text{datos}}} \quad \text{Rendimiento promedio de producción del agregado de tamaño } \phi_i \dots \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

$$\boxed{\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i} = \text{Promedio de "N" datos} \dots\dots \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$\boxed{S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \text{Varianza de "n" datos de una muestra...} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$\boxed{\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}} = \text{Desviación estándar de "n" datos de una muestra...} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

➤ Rendimientos obtenidos en el escenario 1 (Km 276+350)

Nota: Para fines de comparación, se ha definido al rendimiento proporcionado en el manual del fabricante de la chancadora NW200HPS como rendimiento comercial sobre el cual se hacen las comparaciones respectivas con los rendimientos reales.

a) Combinación 1: Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 1/2''$

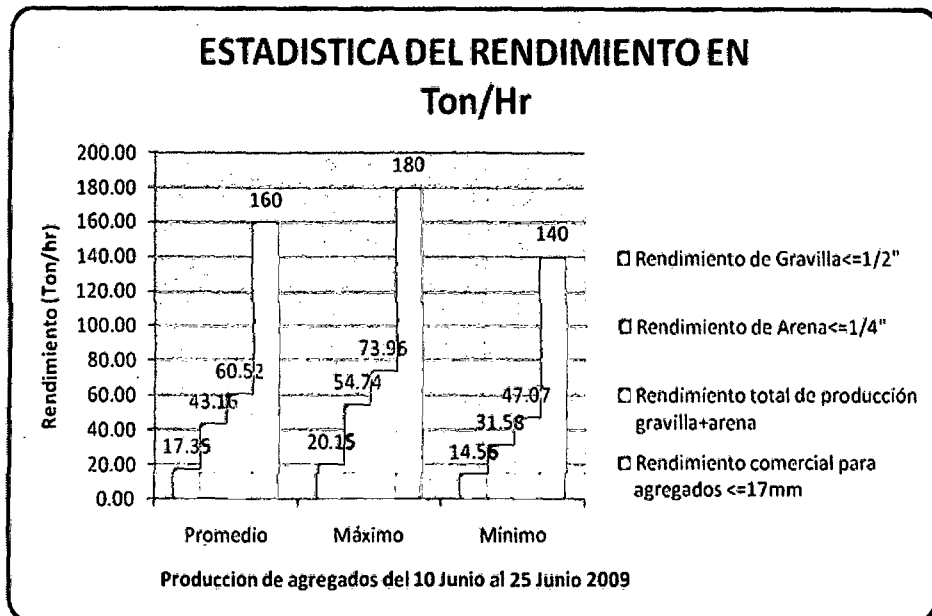


Tabla 4.8 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 10 Junio al 25 Junio 2009 (Fuente propia)

b) Combinación 2: Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 3/8''$  Km 276+350

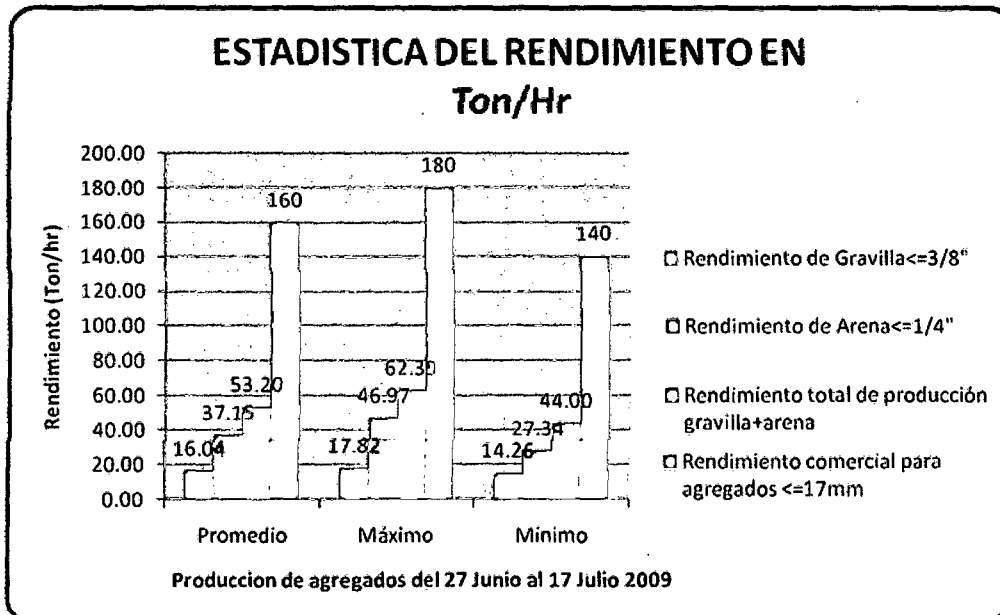


Tabla 4.9 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 27 Junio al 17 Julio 2009 (Fuente propia)

➤ Rendimientos obtenidos en el escenario 2 (Km 338+700)

a) Combinación 2: Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 3/8''$  en Km 338+700

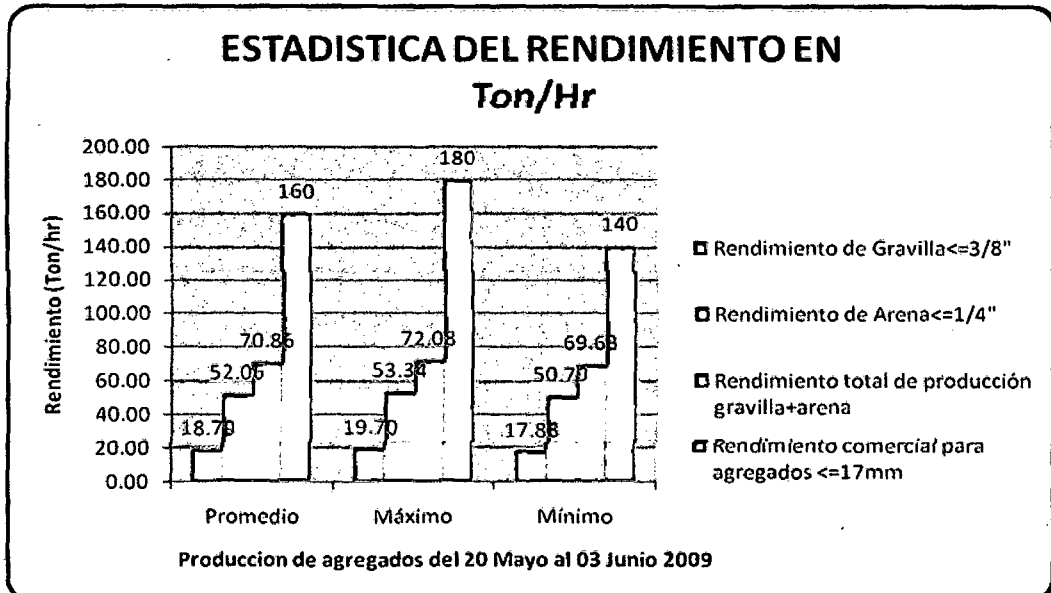


Tabla 4.10 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 20 Mayo al 03 Junio 2009 (Fuente propia)

b) Combinación 1: Arena  $\leq 1/4''$  y Gravilla  $\leq 1/2''$  en Km 338+700

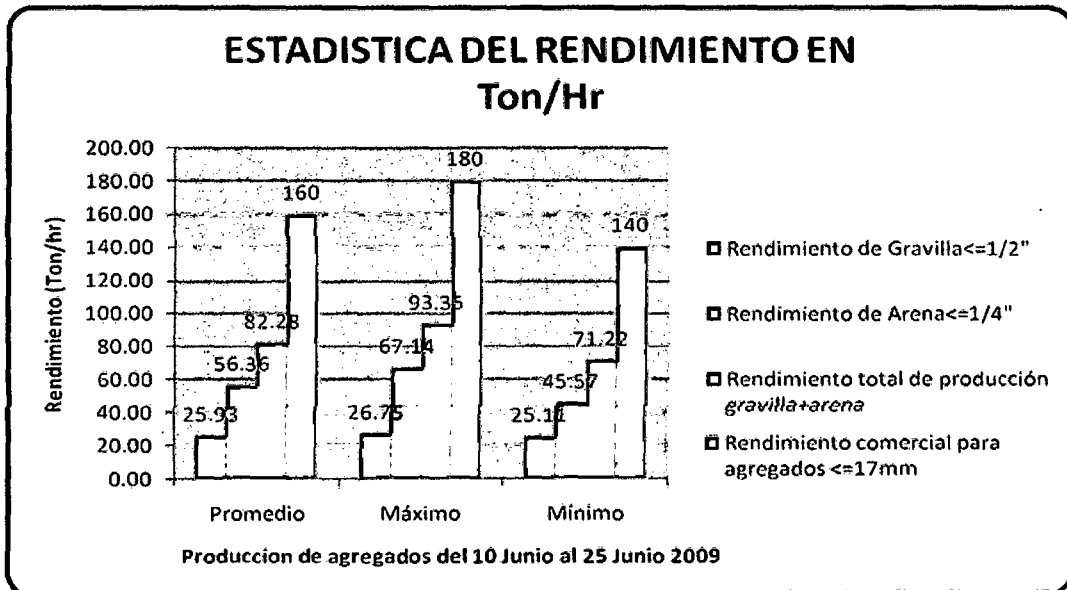


Tabla 4.11 Rendimiento de producción de agregados obtenidos del 10 Junio al 25 Junio 2009 (Fuente propia)



#### 4.4 PARAMETRIZACIÓN LINEAL DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN EL RENDIMIENTO DE CHANCADO

Partiendo de las definiciones expuestas en el capítulo 3, referido a los factores influyentes en el rendimiento del chancado de agregados (ver sección 3.5), se muestra el cuadro con el resumen de los rendimientos de chancado obtenidos, según los cuadros anteriores.

##### Calculo de F1

<p><b>Escenario 1:</b></p> <p>Combinación 1</p> <p>Combinación 2</p>	<p>Material Gravilla <math>\leq 1/2"</math> <math>F1 = (33.8-25.3)/74.2 = 0.11</math></p> <p>Material Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (25.3/74.2) = 0.34</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 1/2"</math> y Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (33.8/74.2) = 0.46</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 3/8"</math> <math>F1 = (30.8-25.3)/74.2 = 0.07</math></p> <p>Material Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (25.3/74.2) = 0.34</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 3/8"</math> y Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (30.8/74.2) = 0.42</math></p>	<p>Para el cálculo de F1, de acuerdo al porcentaje aprovechable para cada tamaño, se compara con el porcentaje de material total de ingreso, según el <b>anexo 5</b></p>
<p><b>Escenario 2:</b></p> <p>Combinación 1</p> <p>Combinación 2</p>	<p>Material Gravilla <math>\leq 1/2"</math> <math>F1 = (30.5-24.1)/60.8 = 0.11</math></p> <p>Material Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (24.1/60.8) = 0.40</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 1/2"</math> y Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (30.5/60.8) = 0.50</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 3/8"</math> <math>F1 = (27.7-24.1)/60.8 = 0.06</math></p> <p>Material Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (24.1/60.8) = 0.40</math></p> <p>Material Gravilla <math>\leq 3/8"</math> y Arena <math>\leq 1/4"</math> <math>F1 = (27.7/60.8) = 0.46</math></p>	<p>Para el cálculo de F1, de acuerdo al porcentaje aprovechable para cada tamaño, se compara con el porcentaje de material total de ingreso, según el <b>anexo 6</b></p>

**Calculo de F2**

Escenario 1  $F2 = (4.2/4.8) = 0.88$  →  $F2 = (4.2/4.8) = 0.88$  Se divide la humedad característica del agregado de entrada entre el porcentaje de finos que pasan la malla n° 200, según los datos del **Anexo 5**

Escenario 2  $F2 = (5.7/2.5) = 2.27$  →  $F2 = (5.7/2.5) = 2.27$  Se divide la humedad característica del agregado de entrada entre el porcentaje de finos que pasan la malla n° 200, según los datos del **Anexo 6**

**Calculo de F3**

Escenario 1  $F3 = 1$  En este caso, la alimentación al molino se da con 1 solo nivel de mallas, ver **fig.3.8**

Escenario 2  $F3 = 2$  En este caso, la alimentación al molino se da con 2 niveles de mallas, ver **fig.3.9**

**Calculo de F4**

Escenario 1  $F4 = 27\%$  Este factor representa el nivel de desgaste del material rocoso que ingresa al circuito de chancado representado en el **anexo 1**

Escenario 2  $F4 = 22\%$  Este factor representa el nivel de desgaste del material rocoso que ingresa al circuito de chancado representado en el **anexo 2**

**Calculo de F5**

Escenario 1  $F5 = 70\%$  Este factor representa el nivel de vibración de la zaranda vibratoria, ajustado en la planta del Km 276+350, según valores de la **tabla 3.6**

Escenario 2  $F5 = 80\%$  Este factor representa el nivel de vibración de la zaranda vibratoria, ajustado en la planta del Km 338+700, según valores de la **tabla 3.6**

**Resumen cuantitativo de los factores influyentes con el valor del rendimiento de producción obtenido**

Material Cantera	CONDICIONES GENERALES		Rend. Obtenido	Rendimiento comercial	VALOR DE LOS FACTORES INFLUYENTES				
	Tamaño Agregado producido	Tamaños máximos de (Entrada-Salida)	T/h	T/h	F1	F2 (H/F)	F3 (N°)	F4 (%)	F5 (%)
<b>Escenario 1</b> Material de Cantera del Km 276 +350	<b>Combinación 1</b>								
	Gravillas ≤ 1/2"	[4"-0.67"]	[15 - 20]		0.11	0.87	1	27	70
	Arenas ≤ 1/4"	[4"-0.67"]	[32 - 56]		0.34	0.87	1	27	70
	Total Grav+Arena	[4"-0.67"]	[47 - 74]	[140 - 180]	0.46	0.87	1	27	70
	<b>Combinación 2</b>								
	Gravillas ≤ 3/8"	[4"-0.67"]	[14 - 18]		0.07	0.87	1	27	70
Arenas ≤ 1/4"	[4"-0.67"]	[27 - 47]		0.34	0.87	1	27	70	
Total Grav+Arena	[4"-0.67"]	[44 - 62]	[140 - 180]	0.42	0.87	1	27	70	
<b>Escenario 2</b> <b>(patrón)</b> Material de Cantera del Km 338 +700	<b>Combinación 1</b>								
	Gravillas ≤ 1/2"	[4"-0.67"]	[25 - 27]		0.11	2.28	2	22	80
	Arenas ≤ 1/4"	[4"-0.67"]	[46 - 67]		0.40	2.28	2	22	80
	Total Grav+Arena	[4"-0.67"]	[71 - 93]	[140 - 180]	0.50	2.28	2	22	80
	<b>Combinación 2</b>								
	Gravillas ≤ 3/8"	[4"-0.67"]	[18 - 20]		0.06	2.28	2	22	80
Arenas ≤ 1/4"	[4"-0.67"]	[51 - 53]		0.40	2.28	2	22	80	
Total Grav+Arena	[4"-0.67"]	[70 - 72]	[140 - 180]	0.46	2.28	2	22	80	

Tabla 4.12 Resumen de interacción entre los valores de factores influyentes con el rendimiento de producción de agregados (Fuente propia)

4.5 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS REALES DE PRODUCCION TOTAL  
MEDIANTE PARAMETRIZACION LINEAL DE LOS FACTORES INFLUYENTES

**Consideración 1:** Con los datos registrados, se establece una correlación numérica entre el rendimiento promedio de producción por tamaño de agregado ( $\phi_i$ ), y el valor de los factores influyentes. Tomando como medida patrón los valores de los factores influyentes registrados para el escenario 2, es decir de los valores registrados de la planta chancadora del Km 338+700.

**Consideración 2:** Los factores influyentes para las condiciones del escenario 1, es decir de los datos obtenidos para la planta del Km 276+350, son normalizados respecto a los valores influyentes del escenario 2. Se considera como la unidad a los factores influyentes del escenario 2, y se pone la fracción que representan los demás factores influyentes (para el escenario 1) respecto al valor de los factores del escenario 2. También se normalizan el valor promedio del rendimiento de producción para cada tamaño de agregado  $\phi_i$ , en las dos combinaciones presentadas (Gravillas  $\leq 1/2''$  + Arena  $\leq 1/4''$  y Gravillas  $\leq 3/8''$  + Arena  $\leq 1/4''$ ) respecto al escenario 2.

	$\Delta F1(1/2)$	$\Delta F2(1/2)$	$\Delta F3(1/2)$	$\Delta F4(1/2)$	$\Delta F5(1/2)$	$\Delta R(1/2)$
<b>Combinación 1</b>						
Gravillas $\leq 1/2''$	1.000	0.382	0.5	1.227	0.875	0.673
Arena $\leq 1/4''$	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.770
Total Grav+Arena	0.920	0.382	0.5	1.227	0.875	0.738
<b>Combinación 2</b>						
Gravillas $\leq 3/8''$	1.167	0.382	0.5	1.227	0.875	0.842
Arena $\leq 1/4''$	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.712
Total Grav+Arena	0.913	0.382	0.5	1.227	0.875	0.746

Tabla 4.13 Cuadro de valores normalizados de factores influyentes vs rendimientos obtenidos (Fuente propia)

**Consideración 3:** Con los datos normalizados, se plantea una correlación entre el valor normalizado para el rendimiento promedio, con los factores influyentes normalizados, donde se establece la siguiente función.

$\Delta Ren Pr om \phi_i = f(\Delta Fi)$  Función rendimiento normalizado vs factores influyentes del tamaño  $\phi_i$  de agregado ..... (Ecuación 4.6)

$\Delta R_{en Pr om \phi i}$  = Valores normalizados del rendimiento promedio de producción por tamaño de agregado  $\phi_i$ , respecto al rendimiento obtenido en el escenario 2 (planta Km 338+700).

$\Delta F_i$  = Valores normalizados de los factores influyentes para otras condiciones, respecto al obtenido en el escenario 2 (Planta Km 338+700). (Ver anexo 22)

**Consideración 4:** En base a la hoja de cálculo mostrada en el anexo 22, se llega a la siguiente correlación numérica.

$\Delta R_{1/2} = 0.4 * \Delta F_1 + 0.1 * \Delta F_2 + 0.3 * \Delta F_3 + 0.1 * \Delta F_4 + 0.1 * \Delta F_5 = \sum_{i=1}^5 K_i * \Delta F_i = 1$ , Fórmula paramétrica para el cálculo del rendimiento promedio de producción normalizado vs factores influyentes..... (Ecuación 4.7)

$K_i$  = Pesos de cada factor influyente en el cálculo, los cuales han sido determinados por un análisis de sensibilidad en con el uso del Excel (Ver anexo 22).

$\sum_{i=1}^5 K_i = 1$ . Condición de los pesos de los factores normalizados (Ecuación 4.8)

	K1	K2	K3	K4	K5
Pesos	0.4	0.1	0.3	0.1	0.1

**Consideración 5:** Donde la expresión para obtener el rendimiento de producción de cada tamaño "i" de agregado del escenario 1 ( $R_{\phi i1}$ ) en función de los valores patrón del escenario 2 ( $R_{\phi i2}$ ) es:  $R_{\phi i1} = [\Delta R_{1/2}] * R_{\phi i2} \dots$  (Ecuación 4.9)

#### 4.6 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS DE PRODUCCION POR TAMAÑO DE AGREGADOS

Cabe recalcar que la fórmula anterior (Eq.4.9) es válida para las condiciones de abertura y cierre del molino de cono de 4" y 0.67" respectivamente, y para la combinación de tamaños de agregados presentados en la tabla 4.12.

Adicionando un porcentaje de error de 3.4%, según el anexo 22, la ecuación anterior se puede generalizar para cualquier escenario j ( $R_{\phi ij}$ ) donde se quiera estimar el rendimiento de producción del tipo de agregado propuesto según su tamaño "i", mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$R_{\phi ij} = (\Delta R_j / 2 \pm 0.034) * R_{\phi i2} \dots \text{(Ecuación 4.10)}$$

Donde:  $R_{\emptyset ij}$  = Rendimiento promedio de producción estimado para el tamaño " $\emptyset i$ " del agregado en el escenario "j" en toneladas por hora.

$\Delta R_j / 2$  = Función de los factores influyentes normalizados del escenario "j" respecto al escenario 2 de los tamaños  $\emptyset i$ .

$R_{\emptyset ij}$  = Rendimiento promedio de producción medido para el tamaño " $\emptyset i$ " del agregado en el escenario "2" en toneladas por hora.

Ver: Anexo 23: Estimación del rendimiento por tamaño de agregado

## CONCLUSIONES

- a. A partir del circuito de trabajo de los equipos que participan en la producción de agregados, los cuales fueron modelados por el diagrama CYCLONE (descripción gráfica del nivel de espera y producción de cada equipo) mostrado en la fig. 27 del capítulo 4, se concluye que son los equipos de carguío (Cargador frontal y excavadora hidráulica) así como los equipos de transporte masivo de material (volquete) los que incurren en mayores niveles de actividad en espera en el proceso de chancado, respecto al equipo de trituración (chancadora) el cual no incurre en mayor actividad de espera. En vista de esta observación, lo único que haría variar el rendimiento de producción del equipo de chancado serían los factores asociados a la naturaleza del material que se va triturar, así como la forma como está montada el sistema zaranda-chancadora, la cual forma parte del objetivo principal de este documento.
- b. Del análisis de los factores que afectan el rendimiento del chancado mostrados en el capítulo 4.4, Los 5 factores más influyentes del rendimiento de la planta chancadora son:
  1. Factor 1 (F1) Disponibilidad Granulométrica del material de ingreso, el cual predispone el aprovechamiento del material según el tamaño requerido en la producción.
  2. Factor 2 (F2) Humedad con Finos (H/F), resultado de combinar la cantidad de material que pasa la malla nº 200 y la presencia de agua asociada con la humedad que presenta, la cual presenta dificultades en los agujeros de la malla de la zaranda vibratoria por problemas de saturación.
  3. Factor 3 (F3) Número de mallas alimentadoras del molino de cono, el cual determina el caudal de material de ingreso al circuito de chancado.
  4. Factor 4 (F4) El nivel de abrasividad del material a chancar proporciona información referente a la exigencia del chancado del material de ingreso cuando es sometido al chancado por fricción continua en el molino de la chancadora.

5. Factor 5 (F5) El nivel de vibración de las mallas de la zaranda vibratoria, dependiendo del tamaño del material a zarandear, puede favorecer o dificultar el zarandeo efectivo de los agregados.

- c. Los valores obtenidos de los 5 factores expuestos así como los rendimientos promedios (R) obtenidos para los 2 escenarios de estudio fueron:

**Escenario 1:**

Combinación 1	F1	F2 (H/F)	F3 (N°)	F4 (%)	F5 (%)	R(T/h)
Gravilla≤1/2"	0.11	0.87	1	27	70	17.5
Arena≤1/4"	0.34	0.87	1	27	70	43.5
Total Grav+Arena	0.46	0.87	1	27	70	60.5
<b>Combinación 2</b>						
Gravilla≤3/8"	0.07	0.87	1	27	70	16
Arena≤1/4"	0.34	0.87	1	27	70	37
Total Grav+Arena	0.42	0.87	1	27	70	53

**Escenario 2:**

Combinación 1	F1	F2 (H/F)	F3 (N°)	F4 (%)	F5 (%)	R(T/h)
Gravilla≤1/2"	0.11	2.28	2	22	80	26
Arena≤1/4"	0.4	2.28	2	22	80	56.5
Total Grav+Arena	0.5	2.28	2	22	80	82
<b>Combinación 2</b>						
Gravilla≤3/8"	0.06	2.28	2	22	80	19
Arena≤1/4"	0.4	2.28	2	22	80	52
Total Grav+Arena	0.46	2.28	2	22	80	71

- d. Al normalizar (llevar a la unidad) los valores numéricos de cada factor influyente respecto a los valores medidos del escenario 2, el cual presenta los valores más altos de rendimiento, se llega a la siguiente correlación:



**Escenario 1/Escenario 2**

	$\Delta F1(1/2)$	$\Delta F2(1/2)$	$\Delta F3(1/2)$	$\Delta F4(1/2)$	$\Delta F5(1/2)$	$\Delta R(1/2)$
<b>Combinación 1</b>						
Gravilla $\leq$ 1/2"	1.000	0.382	0.5	1.227	0.875	0.673
Arena $\leq$ 1/4"	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.770
Total Grav+Arena	0.920	0.382	0.5	1.227	0.875	0.738
<b>Combinación 2</b>						
Gravilla $\leq$ 3/8"	1.167	0.382	0.5	1.227	0.875	0.842
Arena $\leq$ 1/4"	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.712
Total Grav+Arena	0.913	0.382	0.5	1.227	0.875	0.746

$\Delta R_{1/2} = 0.4 * \Delta F1 + 0.1 * \Delta F2 + 0.3 * \Delta F3 + 0.1 * \Delta F4 + 0.1 * \Delta F5 =$  Rendimiento normalizado de los agregados de tamaño "i", en el escenario 1 respecto del escenario 2.

Donde la expresión para obtener el rendimiento de producción de cada tamaño "i" de agregado del escenario 1 ( $R_{\phi i1}$ ) en función de los valores patrón del escenario 2 ( $R_{\phi i2}$ ) es:

$$R_{\phi i1} = [\Delta R_{1/2}] * R_{\phi i2}$$

Adicionando un porcentaje de error de 3.4%, según el anexo 22, la ecuación anterior se puede generalizar para cualquier escenario j ( $R_{\phi ij}$ ) donde se quiera estimar el rendimiento de producción del tipo de agregado propuesto según su tamaño "i", mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$R_{\phi ij} = (\Delta R_{j/2} \pm 0.034) * R_{\phi i2}$$

Donde:  $R_{\phi ij}$  = Rendimiento promedio de producción estimado para el tamaño " $\phi i$ " del agregado en el escenario "j" en toneladas por hora.

$\Delta R_{j/2}$  = Función de los factores influyentes normalizados del escenario "j" respecto al escenario 2 de los tamaños  $\phi i$ .

$R_{\phi ij}$  = Rendimiento promedio de producción medido para el tamaño " $\phi i$ " del agregado en el escenario "2" en toneladas por hora.

## RECOMENDACIONES

- a. A la simulación del modelo CYCLONE, se le puede asociar con un estudio detallado del tiempo para cada equipo que participa en la planta de trituración con el fin de definir con mayores detalles los tiempos muertos, tiempos productivos y tiempos contributorios de estos equipos.
- b. Para hacer comparaciones del rendimiento, es recomendable trabajar con valores absolutos, los cuales incluso son proporcionados por el fabricante del equipo de chancado (toneladas por hora ) para realizar comparaciones en nuestros resultados obtenidos versus los resultados ofrecidos por el fabricante del equipo de chancado.
- c. Existen diversos factores asociados al rendimiento de producción de los equipos de chancado, donde según el modelo del equipo, tamaño y material a triturar así como las condiciones físicas en la que es montada la planta, tienen un efecto favorable o desfavorable para que el valor del rendimiento por hora, presente valores cercanos al proporcionados por el fabricante del equipo, los cuales son considerados válidos para situaciones ideales de procesamiento. En esta investigación se presentan sólo 5 de los posibles factores asociados al rendimiento de producción. Se recomienda analizar otros factores como: Longitud de las fajas de transporte, altitud en la que opera la planta, experiencia del personal que opera en planta, tamaño y estado de conservación de las mallas de la zaranda, etc. Los factores influyentes no tienen necesariamente que ser los mismos para equipos de chancado de diferente modelo, ya que para cada modelo el efecto de los factores influyentes es distinto.
- d. Utilizar la ecuación de estimación del rendimiento, sólo para el modelo de chancadora NW200HPS utilizada y para las combinaciones de gravilla  $\leq 3/8"$  - arena  $\leq 1/4"$ , y gravilla  $\leq 1/2"$  y arena  $\leq 1/4"$ , para el tipo de carcasa del molino estándar medio con 4.92" de abertura de entrada y 0.67" de abertura o canal de salida.

**BIBLIOGRAFIA**

- Ebensberger Luis    Los Aridos en la construcción    Revista BIT edición Mayo 2003    Chile 2003
  
- Gonzalo Duque y Carlos Escobar    Mecánica de los Suelos-Notas del curso de suelos    Universidad Nacional de Colombia    Colombia 2002
  
- Llerena Cano Gustavo    Curso Caminos II "Explotación de canteras"    Universidad Nacional de Ingeniería    Perú 2008
  
- METSO MINERALS C.I.A    Manual de operación de chancadora portable NW200HP    METSO MINERALS CIA [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)    Consultado en Abril de 2009
  
- Per Svedensten y C. Magnus    Optimización de Plantas chancadoras por algoritmos genéticos evolutivos    Universidad Tecnológica de Chalmers    Suecia 2004
  
- Russel A. Carter    Claves para el rendimiento de chancadoras    E&MJ Revista de Ingeniería y Minería    USA 2006
  
- Vargas S. Teófilo    Simulación de procesos en construcción con el Método CYCLONE    Inst. Investigación Facultad Ing. Civil Universidad Nacional de Ingeniería <http://www.iific.edu.pe/>    Lima 2009

# ANEXOS



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

11/03/09  
1

## INFORME N° S09-223

SOLICITADO : GYM S.A  
PROYECTO : CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR. TRAMO I  
UBICACIÓN : CANTERA 276+300  
FECHA : 25 DE MARZO DEL 2009

### RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

#### ENSAYO DE ABRASION MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C-131

Gradación : "A"  
Revoluciones : 500  
Desgaste : 27.4%

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.  
Ejecución : Téo. Victor Canales L.



*[Signature]*  
ING. JEFE DEL LABORATORIO  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Anexo 2

## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

### Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

#### INFORME N° S09- 453

SOLICITADO : GYM SA.  
 PROYECTO : CORREDOR VIAL INTEROCEANICA SUR TRAMO - I  
 SAN JUAN DE MARCONA URCOS  
 UBICACIÓN : NAZCA - PUQUIO - CUZCO  
 FECHA : 02 DE JULIO DEL 2009

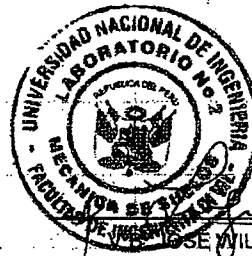
#### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

MATERIAL DE CERRÓ KM. 338+700 LADO IZQUIERDO DE LA CARRETERA NAZCA PUQUIO -CUZCO

#### ENSAYO DE ABRASION MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C 131

Agregado : Grueso  
 Gradación : "A"  
 Revoluciones : 500  
 Desgaste : 21.9%

Nota: Muestras remitidas e identificadas por el Solicitante.  
 Ejecución: Téc. V.Canales



SE WILFREDO GUTIERREZ LAZÁRES  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO

Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Anexo 3

## INFORME N° S09-260

SOLICITANTE : G Y M S.A  
 PROYECTO : CORREDOR VIAL PERU - BRASIL TRAMO I. MARCONA - CUZCO  
 UBICACION : NAZCA  
 FECHA : 11 DE MAYO DEL 2009

### ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO ASTM C-88 CANTERA KM 276+300 LADO DERECHO

#### AGREGADO FINO - ANÁLISIS CUANTITATIVO

Pérdidas (%) : 8.042

Tamaño	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
				Peso (gr)	(%)		
3/8" a N°4	100						
N°4 a N°8	100	100.0	88.7	11.3	11.3	11.2	1.266
N°8 a N°16	100	100.0	91.2	8.8	8.8	15.7	1.382
N°16 a N°30	100	100.0	91.0	9.0	9.0	33.3	2.997
N°30 a N°50	100	100.0	89.1	10.9	10.9	22.0	2.398
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	11.3	
pasa N° 100	-	-	-	-	-	6.5	
<b>TOTALES</b>						100.0	8.042

Nota. La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Téc. Jean Chavez



*Alfredo Gutierrez Lazares*  
 ALFREDO GUTIERREZ LAZARES  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO

Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Anexo 4

## INFORME N° S09-453

SOLICITANTE : GYM SA  
 PROYECTO : CORREDOR VIAL INTEROCEANICA SUR TRMO - I SAN JUAN DE MARCONA URCOS  
 UBICACIÓN : NAZCA - PUQUIO - CUZCO  
 FECHA : 02 DE JULIO DEL 2009

### ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO ASTM C-88

MATERIAL DE CERRO KM. 338+700 LADO IZQUIERDO DE LA CARRETERA NAZCA PUQUIO-CUZCO

#### I. AGREGADO GRUESO

##### ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL AGREGADO GRUESO

Pérdidas (%) : 5.383

N°	Tamaño	%	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr.)	Peso Final (gr.)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Correídas (%)
						Peso (gr)	(%)		
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 500						
	2 1/2" a 2"	60	3000 ± 300						
	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200	1978.3	1922.6	55.7	2.81	22.3	0.628
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50						
	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	1050.2	1020.6	29.6	2.82	31.5	0.888
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	536.3	512.3	24.0	4.48	8.6	0.385
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 40						
	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	685.2	640.3	44.9	6.55	13.1	0.858
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	342.1	315.8	26.3	7.69	9.1	0.700
4	3/8" a N°4		300 ± 5	332.1	290.6	41.5	12.50	15.4	1.924
<b>TOTALES</b>								<b>100.0</b>	<b>5.383</b>

##### ANÁLISIS CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño	Alteración de Partículas Después del Ensayo								N° inicial de Partículas
	Rajadas		Agrietadas		Laminadas (escamosas)		Desintegradas		
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2" a 2"									
2" a 1 1/2"			1	6.7	2	13.3			15
1 1/2" a 1"			2	8.7	3	13.0			23
1" a 3/4"			2	5.6	2	5.6			36

Nota. La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Téc. Jorge Chávez

Revisión : Ing. L. Gonzales



JOSE ANTONIO GUTIERREZ LAZARES  
 JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



<b>Consortio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR TRAMO - I SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	 
--	--	------

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**  
MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

Cantera: Km. 276+350 Lado Derecho  
Material: INTEGRAL (ESTADO NATURAL)

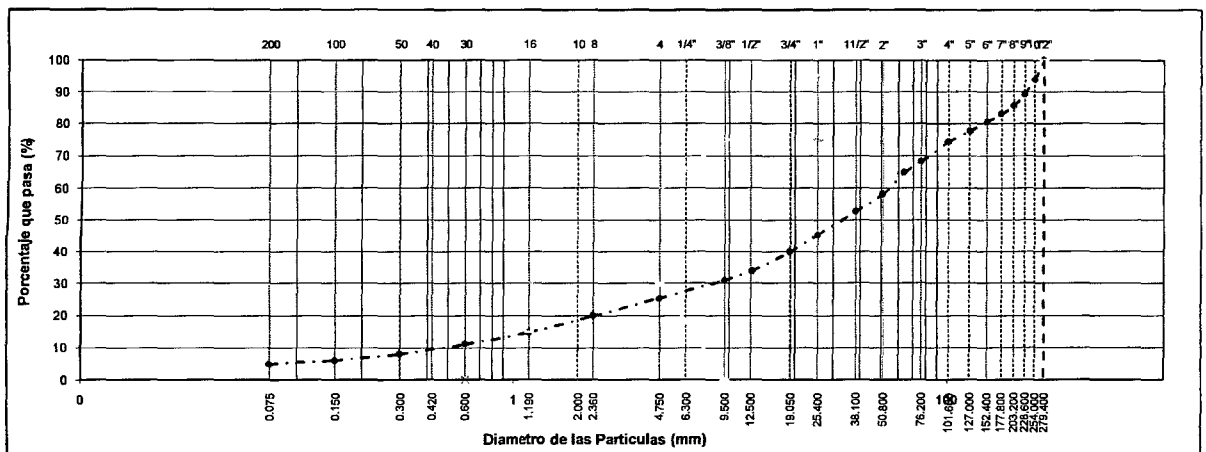
Certificado: CA - 001  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 07/03/2009

EX CANTERA 32+400

<b>MUESTRA</b>	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	:	12"	
<b>PROF. (m)</b>	<b>Peso Inicial seco</b>	:	310,299 g	
	<b>Fracción</b>	:	588 g	

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
12"	279.400				100.0		Contenido de Humedad (%): 4.2
10"	254.000	18892	6.1	6.1	93.9		Limite Líquido (LL): 16.0
9"	228.600	14500	4.7	10.8	89.2		Limite Plástico (LP): N.P
8"	203.200	11344	3.7	14.4	85.6		Indice Plástico (IP): N.P
7"	177.800	8248	2.7	17.1	82.9		Clasificación (SUCS): GP
6"	152.400	7456	2.4	19.5	80.5		Clasificación (AASHTO): A-1-a (0)
5"	127.000	9258	3.0	22.5	77.5		Indice de Grupo:
4"	101.600	10445	3.4	25.8	74.2		Descripción (AASHTO):
3"	76.200	18208	5.9	31.7	68.3		Módulo de Fineza:
2 1/2"	63.500	10576	3.4	35.1	64.9		Materia Orgánica:
2"	50.800	21248	6.8	42.0	58.0		Turba:
1 1/2"	38.100	16688	5.4	47.3	52.7		
1"	25.400	23132	7.5	54.8	45.2		
3/4"	19.000	16888	5.4	60.2	39.8		
1/2"	12.700	18488	6.0	66.2	33.8		
3/8"	9.500	9244	3.0	69.2	30.8		
1/4"	6.300						
Nº 4	4.750	17084	5.5	74.7	25.3		
Nº 8	2.360	17110	5.5	80.2	19.8		
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	16041	5.2	85.4	14.6		
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	11229	3.6	89.0	11.0		
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300	9624	3.1	92.1	7.9		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	6149	2.0	94.1	5.9		
Nº 200	0.075	3609	1.2	95.2	4.8		
< Nº 200	FONDO	14838	4.8	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



APROBADO POR

**Ing. Renzo**  
CONSORCIO CONSTRUCTOR DEL SUR

<b>Consercio</b> <b>Constructor del</b> <b>Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO - I SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	 
--	--	------

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

Cantera: Km. 338+700 Lado Izquierdo  
 Material: INTEGRAL (ESTADO NATURAL)

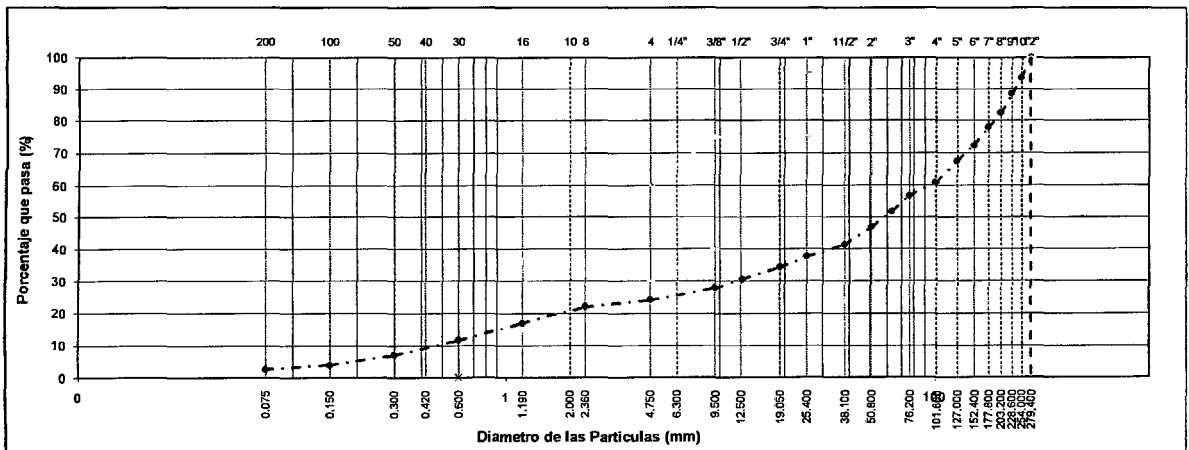
Certificado: CA - 001  
 Hecho por: Laboratorio  
 Fecha: 07/03/2009

<b>MUESTRA</b>	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	:	12"	
<b>PROF. (m)</b>	<b>Peso inicial seco</b>	:	400,839	g
	<b>Fracción</b>	:	740	g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO (gr) RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
12"	279.400				100.0		Contenido de Humedad (%): 5.7
10"	254.000	25600	6.4	6.4	93.6		Límite Líquido (LL): 17.0
9"	228.600	20466	5.1	11.5	88.5		Límite Plástico (LP): N.P
8"	203.200	24604	6.1	17.6	82.4		Índice Plástico (IP): N.P
7"	177.800	17864	4.5	22.1	77.9		Clasificación (SUCS): GP
6"	152.400	22555	5.6	27.7	72.3		Clasificación (AASHTO): A-1-a (0)
5"	127.000	19344	4.8	32.5	67.5		Índice de Grupo:
4"	101.600	26896	6.7	39.2	60.8		Descripción (AASHTO):
3"	76.200	16580	4.1	43.4	56.6		Módulo de Fineza:
2 1/2"	63.500	19300	4.8	48.2	51.8		Materia Orgánica:
2"	50.800	20456	5.1	53.3	46.7		Turba: 2.28
1 1/2"	38.100	22048	5.5	58.8	41.2		
1"	25.400	14696	3.7	62.5	37.5		
3/4"	19.000	13222	3.3	65.8	34.2		
1/2"	12.700	14866	3.7	69.5	30.5		0.11 0.50
3/8"	9.500	11200	2.8	72.3	27.7		0.06 0.46
1/4"	6.300						2.27
Nº 4	4.750	14622	3.6	75.9	24.1		
Nº 8	2.360	8348	2.1	78.0	22.0		0.40 0.40
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	20608	5.1	83.1	16.9		
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	21130	5.3	88.4	11.6		
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300	18261	4.6	93.0	7.0		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	12913	3.2	96.2	3.8		
Nº 200	0.075	5217	1.3	97.5	2.5		
< Nº 200	FONDO	10043	2.5	100.0			


**OBSERVACIONES:**  
 Material Hormigón de río limpio  
 Presenta Bolonería > 12" aprox. 8%

**CURVA GRANULOMETRICA**



APROBADO POR

**Ing. Renzo**  
 Constructor del Sur

<b>Consorcio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	<b>GyM</b> 
--	--	--

**ANALISIS GRANULOMETRICO  
DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

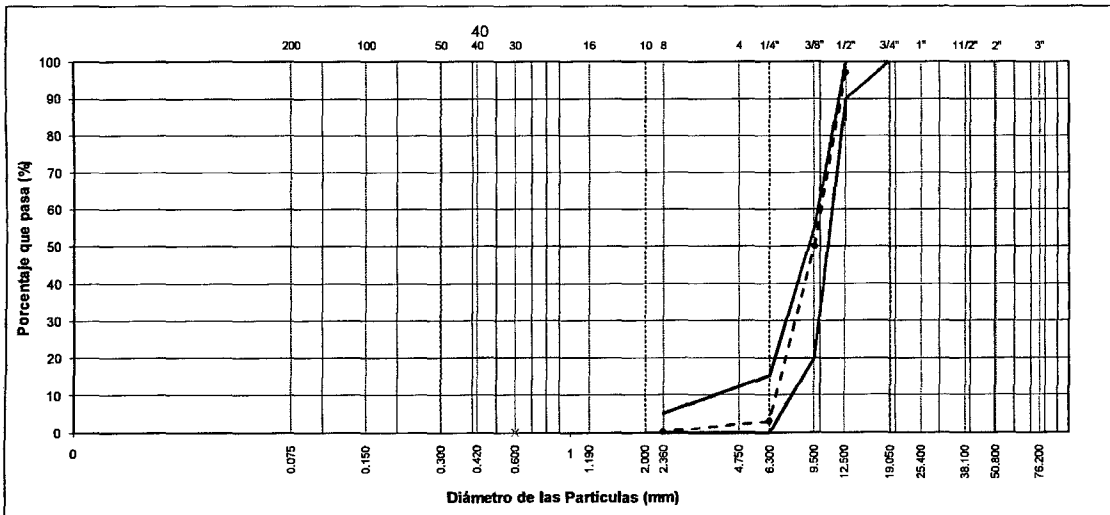
Cantera: Km 276+300 L. Derecho  
Material: Grava Chancada Para tratamiento Superficial Monocapa

Certificado: P- 021  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 14/06/09

DATOS DE LA MUESTRA			
Control de Producción	TAMAÑO MÁXIMO	:	3/4"
Muestra Tomada de Faja	Peso inicial seco	:	11500 g
	Fracción	:	g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					" B"	Contenido de Humedad (%):
2"	50.800						Límite Líquido (LL):
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP):
1"	25.400						Índice Plástico (IP):
3/4"	19.000				100.0	100	Clasificación (SUCS):
1/2"	12.700	325	2.8	2.8	97.2	90 100	Clasificación (AASHTO):
3/8"	9.500	5430	47.2	50.0	50.0	20 55	Índice de Grupo:
1/4"	6.300	5405	47.0	97.0	3.0	0 15	Descripción ( AASHTO ):
Nº 4	4.750						Módulo de Fineza:
Nº 8	2.360	310	2.7	99.7	0.3	0 5	Materia Orgánica: NO
Nº 10	2.000						Turba: NO
Nº 16	1.190	30.0	0.3	100.0			Observaciones.
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150						
Nº 200	0.075						
< Nº 200	FONDO						


CURVA GRANULOMETRICA



APROBADO POR

Ing. Renzo Manóese Pretell  
C.E. Nº 1000  
CONSORCIO CONSTRUCTOR VIAL SUR

Anexo 8: Control Granulométrico de gravilla  $\leq 3/8"$ , utilizada como Monocapa tipo C

<b>Consercio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

**ANALISIS GRANULOMETRICO  
DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

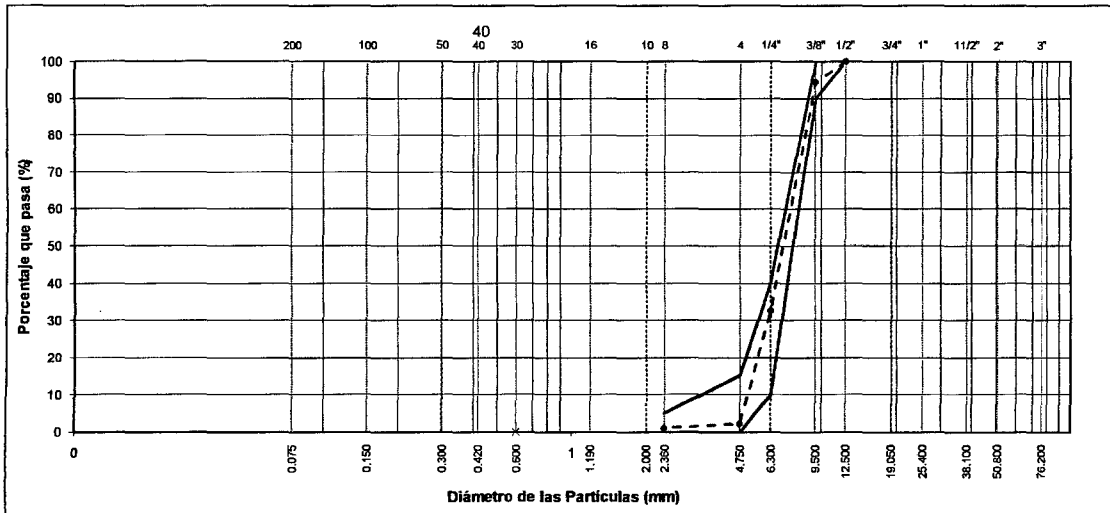
Cantera: Km 276+300 L. Derecho  
Material: Grava Chancada Para tratamiento Superficial Monocapa

Certificado: P- 009  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 04/07/09

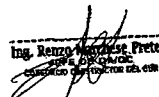
DATOS DE LA MUESTRA			
Muestra Tomada de producción	TAMAÑO MÁXIMO	:	1/2"
	Peso inicial seco	:	9745 g
	Fracción	:	g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					" C"	Contenido de Humedad (%): Límite Líquido (LL): Límite Plástico (LP): Índice Plástico (IP): Clasificación (SUCS): Clasificación (AASHTO): Índice de Grupo: Descripción (AASHTO): Módulo de Fineza: 6.0 Materia Orgánica: NO Turba: NO Observaciones:
2"	50.800				100.0	100	
1 1/2"	38.100				94.5	90 100	
1"	25.400				32.6	10 40	
3/4"	19.000				2.3	0 15	
1/2"	12.500				1.1	0 5	
3/8"	9.500	540	5.5	5.5	94.5		
1/4"	6.300	6030	61.9	67.4	32.6		
Nº 4	4.750	2955	30.3	97.7	2.3		
Nº 8	2.360	110	1.1	98.9	1.1		
Nº 10	2.000	110	1.1	100.0			
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150						
Nº 200	0.075						
< Nº 200	FONDO						

CURVA GRANULOMETRICA



APROBADO POR

  
**Ing. Remy Mercedes Pretell**  
 Inge. de Control de Calidad  
 Consercio Constructor del Sur

Anexo 9: Control Granulométrico de la arena Slurry < 1/4"

<b>Consorcio</b> <b>Constructor del</b> <b>Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	 

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

Cantera: km 276+300 L. Der.  
 Material: Arena chancada para slurry seal Tipo II

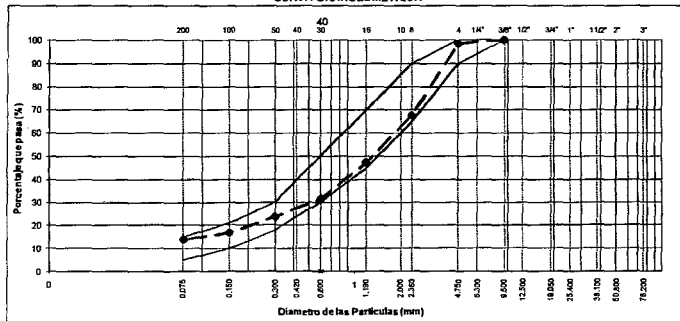
Certificado: T II - 002  
 Hecho por: Laboratorio  
 Fecha: 03/07/09

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>MUESTRA</b>	Tomada de camion micropavimentador	<b>TAMANO MAXIMO</b>	: 3/8"
		<b>Peso inicial seco</b>	: 1310 g
		<b>Fracción</b>	: g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200				100.0		Contenido de Humedad (%): Límite Líquido (LL): Límite Plástico (LP): Índice Plástico (IP): Clasificación (SUCS): Clasificación (AASHTO): Índice de Grupo:
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.300						
Nº 4	4.750	20.0	1.5	1.5	98.5	90 100	
Nº 8	2.360	405.0	30.9	32.4	67.6	65 90	
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190	285.0	20.2	52.7	47.3	45 70	
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600	210.0	16.0	68.7	31.3	30 50	
Nº 40	0.425						
Nº 50	0.300	100.0	7.6	76.3	23.7	18 30	
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	90.0	6.8	83.2	16.8	10 21	
Nº 200	0.075	40.0	3.1	86.3	13.7	5 15	
<Nº 200	FONDO	180	13.7	100.0			

**CURVA GRANULOMETRICA**



APROBADO POR

*[Signature]*  
 Ing. [Name]  
 03/07/09

Anexo 10: Registro de producción de gravilla  $\leq 1/2''$  y arena  $\leq 1/4''$  en planta Km 276+350

**GyM** **CONVENIO GYM -UNI**



**TESIS DE INVESTIGACION**

Tema: Rendimientos de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias de cono  
 Obra asignada: Corredor Vial Interoceánico Sur tramo I  
 Tesista: Bach. Ing. Civil: Marco Antonio Ríos Morales  
 Asesor de GyM: Ing. Jorge Guillen Flores

PRODUCCION EN VOLUMEN (m <sup>3</sup> )		Material ingreso <12"	Produccion de piedras 1/2"	Produccion de arena $\leq 1/4''$	Over > 4"
FECHA DE MEDICION	Horas de trabajo chancadora NW 200HPS		PUS= 1.49 Ton/m <sup>3</sup>	PUS= 1.70 Ton/m <sup>3</sup>	PUS= 1.55 Ton/m <sup>3</sup>
	Dia-Noche	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
10/06/2009	15.12	759	150	333	276
11/06/2009	15.94	690	160	320	210
12/06/2009	17.19	760	200	350	210
13/06/2009	17.89	755	215	360	180
14/06/2009	3.86	150	45	75	30
15/06/2009	15.17	846	230	415	201
16/06/2009	5.61	340	80	170	90
19/06/2009	7.01	387	87	240	60
20/06/2009	16.21	920	200	540	180
22/06/2009	13.26	801	175	525	101
23/06/2009	6.9	255	60	150	45
24/06/2009	17.88	764	180	355	229
25/06/2009	3	140	30	65	45

PRODUCCION EN PESO (ton)		Material ingreso <12"	Produccion de piedras 1/2"	Produccion de arena $\leq 1/4''$	Over > 4"	Rendimientos de Producción en campo			Ren. Comercial
FECHA DE MEDICION	Horas de trabajo chancadora NW 200HPS		PUS= 1.49 Ton/m <sup>3</sup>	PUS= 1.70 Ton/m <sup>3</sup>	PUS= 1.55 Ton/m <sup>3</sup>	Gravillas 1/2"	Arenas 1/4"	Total(Gra+Are)	Salidas 17mm (3/4")
	Dia-Noche	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr
10/06/2009	15.12	1217.4	223.5	566.1	427.8	14.78	37.44	52.22	
11/06/2009	15.94	1107.9	238.4	544	325.5	14.96	34.13	49.08	
12/06/2009	17.19	1218.5	298	595	325.5	17.34	34.61	51.95	
13/06/2009	17.89	1211.35	320.35	612	279	17.91	34.21	52.12	
14/06/2009	3.86	241.05	67.05	127.5	46.5	17.37	33.03	50.40	
15/06/2009	15.17	1359.75	342.7	705.5	311.55	22.59	46.51	69.10	
16/06/2009	5.61	547.7	119.2	289	139.5	21.25	51.52	72.76	
19/06/2009	7.01	630.63	129.63	408	93	18.49	58.20	76.69	
20/06/2009	16.21	1495	298	918	279	18.38	56.63	75.02	
22/06/2009	13.26	1309.8	260.75	892.5	156.55	19.66	67.31	86.97	
23/06/2009	6.9	414.15	89.4	255	69.75	12.96	36.96	49.91	
24/06/2009	17.88	1226.65	268.2	603.5	354.95	15.00	33.75	48.75	
25/06/2009	3	224.95	44.7	110.5	69.75	14.90	36.83	51.73	
PROMEDIO=						17.35	43.16	60.52	160
DESV. ESTÁNDAR=						2.80	11.58	13.44	20
MÁXIMO=						20.15	54.74	73.96	180
MÍNIMO=						14.56	31.58	47.07	140

Anexo 11: Peso Unitario Suelto Arena  $\leq 1/4''$  para Slurry tipo II Km 276+350

<b>Consorcio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b>  <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	 
--	--	---

**PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS**

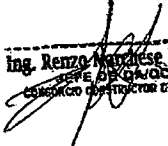
MTC E203 - ASTM C29

Cantera: KM 276+350 L. DER  
Material: GRAVA CHANCADA T. Máx.  $\leq 1/4''$   
PARA SLURRY SEAL TIPO II


Certificado: PUA-001  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 25/06/09

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/4''$			MOLDE			
DESCRIPCION	UND.	SUELTO					
		1	2	3			
Peso del molde más agregado seco	gr	16332.93	16398.26	16296.19			
Peso del molde	gr		9400.00				
Peso del agregado seco	gr	6932.93	6998.26	6896.19			
Volúmen del molde	cc		4083.00				
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1698.00	1714.00	1689.00			
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		<b>1700.33</b>				

APROBADO POR:

  
Ing. Renzo Morales Pretelli  
E. 25674  
Consorcio Constructor del Sur

Anexo 12: Peso Unitario Gravilla  $\leq 1/2''$  para monocapa tipo B Km 276+350

<b>Consortio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

### PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

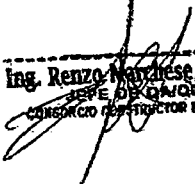
MTC E203 - ASTM C29

Cantera: KM 276+350 L. DER  
Material: GRAVA CHANCADA T. Máx.  $\leq 1/2''$   
PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA

Certificado: PUA-001  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 25/06/09



PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/2''$			MOLDE			
DESCRIPCION	UND.	SUELTO					
		1	2	3			
Peso del molde más agregado seco	gr	15484.98	15574.48	15443.86			
Peso del molde	gr		9400.00				
Peso del agregado seco	gr	6084.98	6174.48	6043.86			
Volúmen del molde	cc		4083.00				
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1490.32	1512.24	1480.25			
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		1494.27				

APROBADO POR:

  
**Ing. Renzo Marchese Pretelli**  
 JEFE DE QA/QC  
 CONSORTIO CONSTRUCTOR DEL SUR




Anexo 13: Registro de producción de gravilla ≤ 3/8" y arena ≤ 1/4" en planta Km 276+350

 <b>CONVENIO GYM -UNI</b> <b>TESIS DE INVESTIGACION</b>		Tema: Rendimientos de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias de cono Obra asignada: Corredor Vial Interoceanico Sur tramo I Tesis de Bach. Ing. Civil: Marco Antonio Ríos Morales Asesor de GyM : Ing. Jorge Guillen Flores	

PRODUCCION EN VOLUMEN (m <sup>3</sup> )		Material de ingreso < 12"	Produccion Gravilla ≤ 3/8" (PUS= 1.58Ton/m <sup>3</sup> )	Produccion Arenas 1/4" (PUS= 1.72Ton/m <sup>3</sup> )	Over ≥ 4" (PUS= 1.55Ton/m <sup>3</sup> )
FECHA DE MEDICION	Horas de trabajo chancadora NW 200HPS Dia-Noche				
27/06/2009	15.14	700	115	330	255
28/06/2009	3.69	180	30	120	30
29/06/2009	13.14	753	123	405	225
30/06/2009	14.71	777	152	430	195
01/07/2009	11.07	546	111	285	150
02/07/2009	11.92	621	123	210	288
03/07/2009	16.01	735	165	225	345
07/07/2009	13.57	710	140	255	315
10/07/2009	13.88	725	140	315	270
11/07/2009	15.81	808	163	285	380
13/07/2009	14.99	700	160	255	285
14/07/2009	13.39	672	147	255	270
15/07/2009	10.53	438	108	150	180
16/07/2009	14.01	699	159	285	255
17/07/2009	12.36	660	150	270	240

PRODUCCIÓN EN PESO (ton)		Material de ingreso < 12"	Produccion Gravilla ≤ 3/8" (PUS= 1.58Ton/m <sup>3</sup> )	Produccion Arenas 1/4" (PUS= 1.72Ton/m <sup>3</sup> )	Over ≥ 4" (PUS= 1.55Ton/m <sup>3</sup> )	Rendimientos de Producción en campo			Ren. Comercial	
FECHA DE MEDICION	Horas de trabajo chancadora NW 200HPS Dia-Noche					Ton	Ton	Ton	Ton	Gravillas 3/8"
27/06/2009	15.14	1092	181.7	567.6	385.25	12.00	37.49	49.49		
28/06/2009	3.69	280.8	47.4	208.4	46.5	12.85	55.93	68.78		
29/06/2009	13.14	1174.68	194.34	698.6	348.75	14.79	53.01	67.80		
30/06/2009	14.71	1212.12	240.16	739.6	302.25	16.33	50.28	66.61		
01/07/2009	11.07	851.76	175.38	490.2	232.5	15.84	44.28	60.12		
02/07/2009	11.92	968.76	194.34	361.2	446.4	16.30	30.30	46.61		
03/07/2009	16.01	1146.6	260.7	387	534.75	16.28	24.17	40.46		
07/07/2009	13.57	1107.6	221.2	438.8	488.25	16.30	32.32	48.62		
10/07/2009	13.88	1131	221.2	541.8	418.5	15.94	39.03	54.97		
11/07/2009	15.81	1260.48	257.54	490.2	558	16.50	31.40	47.90		
13/07/2009	14.99	1092	252.8	438.6	441.75	16.86	29.26	46.12		
14/07/2009	13.39	1048.32	232.26	438.6	418.5	17.35	32.76	50.10		
15/07/2009	10.53	683.28	170.64	258	279	16.21	24.50	40.71		
16/07/2009	14.01	1090.44	251.22	490.2	395.25	17.93	34.99	52.92		
17/07/2009	12.36	1029.6	237	464.4	372	19.17	37.57	56.75		
						PROMEDIO =	16.04	37.15	53.20	160
						DESV. STANDAR=	1.78	9.82	9.20	20
						MÁXIMO=	17.82	46.97	62.39	180
						MÍNIMO=	14.26	27.34	44.00	140

Anexo 14: Peso Unitario Suelto Arena  $\leq 1/4"$  para Slurry tipo II Km 276+350

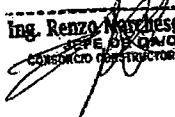
<b>Consortio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

**PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS**  
MTC E203 - ASTM C29


Cantera: <b>KM 276+350 L. DER</b>	Certificado: <b>PUA-001</b>	Hecho por: <b>Laboratorio</b>
Material: <b>GRAVA CHANCADA T. Máx. <math>\leq 1/4"</math></b>	Hecho por: <b>Laboratorio</b>	Fecha: <b>13/07/09</b>
<b>PARA SLURRY SEAL TIPO II</b>		

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/4"$			MOLDE		
DESCRIPCION	UND.	SUELTO				
		1	2	3		
Peso del molde más agregado seco	gr	16456.28	16418.43	16428.27		
Peso del molde	gr		9400.00			
Peso del agregado seco	gr	7056.28	7018.43	7028.27		
Volúmen del molde	cc		4083.00			
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1728.21	1718.94	1721.35		
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		1722.83			

APROBADO POR:

  
**Ing. Renzo Marchese Pretelli**  
 JEFE DE CALIDAD  
 CONSORTIO CONSTRUCTOR DEL SUR

Anexo 15: Peso Unitario Gravilla  $\leq 3/8''$  para monocapa tipo C Km 276+350

<b>Consorcio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b>	
	<b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	


### PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

MTC E203 - ASTM C29

<b>Cantera:</b>	KM 276+350 L. DER	<b>Certificado:</b>	PUA-001
<b>Material:</b>	GRAVA CHANCADA T. Máx. $\leq 3/8''$ PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA	<b>Hecho por:</b>	Laboratorio
		<b>Fecha:</b>	13/07/09

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 3/8''$			MOLDE		
DESCRIPCION	UND.	SUELTO				
		1	2	3		
Peso del molde más agregado seco	gr	15857.43	15850.49	15860.61		
Peso del molde	gr		9400.00			
Peso del agregado seco	gr	6457.43	6450.49	6460.61		
Volúmen del molde	cc		4083.00			
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1581.54	1579.84	1582.32		
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		1581.23			

APROBADO POR:

  
**Ing. Renzo Marchese Pretelli**  
 JEFE DE QA/QC  
 CONSORCIO CONSTRUCTOR DEL SUR

Anexo 16: Registro de producción de gravilla  $\leq 3/8"$  y arena  $\leq 1/4"$  en planta Km 338+700



CONVENIO GYM -UNI  
TESIS DE INVESTIGACION




Tema: Rendimientos de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias de cono  
Obra asignada: Corredor Vial Interoceánico Sur tramo I  
Tesisista: Bach. Ing. Civil: Marco Antonio Ríos Morales  
Asesor de GYM: Ing. Jorge Guillen Flores

CONTROL DE PRODUCCION DIARIA EN PLANTA CHANCADORA SECUNDARIA HP 200 -PLANTA KM 338 +700					
CONTROL DE PRODUCCION EN VOLUMEN		Material ingreso <12"	Produccion de piedras 3/8"	Produccion de arenas 1/4"	Over >4"
FECHA DE	Total horas Chanc HP 200		(PUS= 1.55Ton/m <sup>3</sup> )	(PUS= 1.70Ton/m <sup>3</sup> )	(PUS= 1.51Ton/m <sup>3</sup> )
PRODUCCION	Dia-Noche	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
20/05/2009	3.04	203	35	95	73
21/05/2009	0.84	55	10	25	20
22/05/2009	4.95	338	60	156	122
23/05/2009	4.71	328	60	150	118
24/05/2009	3.05	203	40	90	73
25/05/2009	9.81	645	108	305	232
28/05/2009	6.43	430	80	195	155
29/05/2009	10.51	688	125	315	248
30/05/2009	7.79	523	95	240	188
31/05/2009	3.53	234	45	105	84
01/06/2009	8.33	555	100	255	200
02/06/2009	2.97	198	37	90	71
03/06/2009	8.13	544	93	255	186

CONTROL DE PRODUCCION DIARIA EN PLANTA CHANCADORA SECUNDARIA HP 200 -PLANTA KM 338 +700									
CONTROL DE PRODUCCION EN PESO		Material ingreso <12"	Produccion de piedras 3/8"	Produccion de arenas 1/4"	Over >4"	Rendimientos de Producción en campo			Ren. Comercial
FECHA DE	Total horas Chanc HP 200		(PUS= 1.55Ton/m <sup>3</sup> )	(PUS= 1.70 Ton/m <sup>3</sup> )	(PUS= 1.51Ton/m <sup>3</sup> )	Gravillas 3/8"	Arenas 1/4"	Total(Gra+Are)	Salidas 17mm (3/4")
PRODUCCION	Dia-Noche	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr
20/05/2009	3.04	326	54	162	110	17.84	53.12	70.97	
21/05/2009	0.84	88	16	43	30	18.49	50.71	69.20	
22/05/2009	4.95	542	93	265	183	18.77	53.53	72.30	
23/05/2009	4.71	526	93	255	178	19.75	54.16	73.91	
24/05/2009	3.05	325	62	153	110	20.32	50.14	70.45	
25/05/2009	9.81	1037	167	519	351	17.06	52.85	69.92	
28/05/2009	6.43	689	124	332	234	19.30	51.59	70.89	
29/05/2009	10.51	1103	194	536	374	18.43	50.95	69.38	
30/05/2009	7.79	840	147	408	285	18.90	52.37	71.27	
31/05/2009	3.53	376	70	179	127	19.76	50.58	70.34	
01/06/2009	8.33	890	155	434	302	18.60	52.02	70.62	
02/06/2009	2.97	318	57	153	108	19.31	51.51	70.82	
03/06/2009	8.13	873	144	434	296	17.73	53.32	71.04	
PROMEDIO=						18.79	52.08	70.86	160
DESV. ESTÁNDAR=						0.91	1.27	1.22	20
MÁXIMO=						19.70	53.34	72.08	180
MÍNIMO=						17.88	50.79	69.63	140

Anexo 17: Peso Unitario Suelto Arena  $\leq 1/4"$  para Slurry tipo II Km338+700

<b>Consercio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

### PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

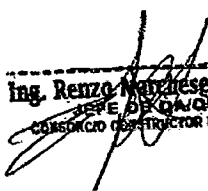
MTC E203 - ASTM C29

**Cantera:** KM 338+700 L. IZQ  
**Material:** GRAVA CHANCADA T. Máx.  $\leq 1/4"$   
PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA


**Certificado:** PUA-001  
**Hecho por:** Laboratorio  
**Fecha:** 07/06/09

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/4"$	MOLDE				
DESCRIPCION	UND.	SUELTO				
		1	2	3		
Peso del molde más agregado seco	gr	16338.04	16350.25	16342.94		
Peso del molde	gr		9400.00			
Peso del agregado seco	gr	6938.04	6950.25	6942.94		
Volúmen del molde	cc		4083.00			
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1699.25	1702.24	1700.45		
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		<b>1700.65</b>			

APROBADO POR:

  
**Ing. Renzo Marchese Pretelli**  
JEFE DE QA/QC  
CONSORCIO CONSTRUCTOR DEL SUR

Anexo 18: Peso Unitario Gravilla  $\leq 3/8"$  para monocapa tipo C Km 338+700

<b>Consorcio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

**PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS**

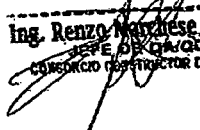
MTC E203 - ASTM C29

Cantera: KM 338+700 L. IZQ  
Material: GRAVA CHANCADA T. Máx.  $\leq 3/8"$   
PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA

Certificado: PUA-001  
Hecho por: Laboratorio  
Fecha: 07/06/09

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 3/8"$				MOLDE		
DESCRIPCION	UND.	SUELTO					
		1	2	3			
Peso del molde más agregado seco	gr	15681.49	15748.41	15778.95			
Peso del molde	gr		9400.00				
Peso del agregado seco	gr	6281.49	6348.41	6378.95			
Volúmen del molde	cc		4083.00				
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1538.45	1554.84	1562.32			
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		1551.87				

APROBADO POR:

  
Ing. Renzo Marchese Pretelli  
Ingeniero de Grava  
Consorcio Constructor del Sur

Anexo 19 Produccion slurry 1-4 gravilla 1-2 Km 338+700




Tema: Rendimientos de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias de cono  
 Obra asignada: Corredor Vial Interoceánico Sur tramo I  
 Tesista: Bach. Ing. Civil: Marco Antonio Ríos Morales  
 Asesor de GyM Ing. Jorge Guillen Flores

PRODUCCION EN VOLUMEN		Material Ingreso<12"	Produccion de piedras 1/2"	Produccion de arenas 1/4"	Over >4"
FECHA DE PRODUCCION	Total horas chanc. Dia-Noche	M <sup>3</sup>	PUS= 1.51 T/M <sup>3</sup> M <sup>3</sup>	PUS= 1.70T/M <sup>3</sup> M <sup>3</sup>	PUS= 1.48T/M <sup>3</sup> M <sup>3</sup>
10/06/2009	2.83	252	50	117	86
11/06/2009	11.20	894	200	377	318
12/06/2009	5.92	455	100	198	157
17/06/2009	6.16	490	110	209	171
18/06/2009	6.44	487	112	219	156
19/06/2009	5.14	345	90	120	135
20/06/2009	5.55	356	90	120	146
22/06/2009	8.76	633	144	279	210
23/06/2009	3.86	285	66	120	89
24/06/2009	3.00	237	51	120	66
25/06/2009	4.55	414	77	184	153

PRODUCCION EN PESO		Material Ingreso<12"	Produccion de piedras 1/2"	Produccion de arenas 1/4"	Over >4"	Rendimientos de Producción en campo			Ren. Comercial	
FECHA DE PRODUCCION	Total horas chanc. Dia-Noche	Ton	PUS= 1.51 T/M <sup>3</sup> Ton	PUS= 1.70T/M <sup>3</sup> Ton	PUS= 1.48T/M <sup>3</sup> Ton	Gravilla 1/2"	Arenas 1/4"	Total(Gra+Are)	Salidas 17mm (3/4")	
						Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr	Ton/hr	
10/06/2009	2.83	401	75.50	198	127	26.68	70	97		
11/06/2009	11.20	1412	302.00	640	470	26.97	57	84		
12/06/2009	5.92	720	151.00	337	232	25.50	57	82		
17/06/2009	6.16	774	166.10	355	254	26.98	58	85		
18/06/2009	6.44	772	169.12	373	231	26.27	58	84		
19/06/2009	5.14	540	135.90	204	200	26.43	40	66		
20/06/2009	5.55	556	135.90	204	216	24.51	37	61		
22/06/2009	8.76	1003	217.44	474	311	24.82	54	79		
23/06/2009	3.86	450	99.66	204	147	25.82	53	79		
24/06/2009	3.00	379	77.01	204	88	25.67	68	94		
25/06/2009	4.55	656	116.27	313	226	25.55	69	94		
						PROMEDIO=	25.93	56.36	82.28	160
						DESV. ESTÁNDAR=	0.82	10.78	11.07	20
						MÁXIMO=	26.75	67.14	93.35	180
						MÍNIMO=	25.11	45.57	71.22	140

Anexo 20: Peso Unitario Suelto Arena  $\leq 1/4''$  para Slurry tipo II Km 338+700

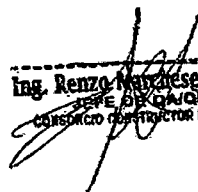
<b>Consortio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b> <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

**PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS**  
MTC E203 - ASTM C29

Cantera:	KM 338+700 L. IZQ	Certificado:	PUA-001
Material:	GRAVA CHANCADA T. Máx. $\leq 1/4''$	Hecho por:	Laboratorio
	PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA	Fecha:	20/06/09


PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/4''$	MOLDE					
DESCRIPCION	UND.	SUELTO					
		1	2	3			
Peso del molde más agregado seco	gr	16338.04	16350.25	16342.94			
Peso del molde	gr		9400.00				
Peso del agregado seco	gr	6938.04	6950.25	6942.94			
Volúmen del molde	cc		4083.00				
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1699.25	1702.24	1700.45			
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		<b>1700.65</b>				

APROBADO POR:

  
**Ing. Renzo Marchese Pretelli**  
 JEFE DE OBRAS  
 CONSORTIO CONSTRUCTOR DEL SUR



Anexo 21: Peso Unitario Gravilla  $\leq 1/2''$  para monocapa tipo B Km 338+700

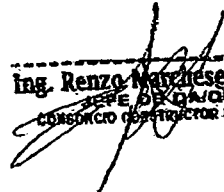
<b>Consortio Constructor del Sur (CCS)</b>	<b>CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR</b>  <b>TRAMO 1 - SAN JUAN DE MARCONA - URCOS</b>	
--	--	---

**PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS**  
MTC E203 - ASTM C29

Cantera:	KM 338+700 L. IZQ	Certificado:	PUA-001
Material:	GRAVA CHANCADA T. Máx. $\leq 1/2''$ PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA	Hecho por:	Laboratorio
		Fecha:	20/06/09

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA :	Tamaño máximo $\leq 1/2''$			MOLDE			
DESCRIPCION	UND.	SUELTO					
		1	2	3			
Peso del molde más agregado seco	gr	15608.00	15564.68	15566.64			
Peso del molde	gr		9400.00				
Peso del agregado seco	gr	6208.00	6164.68	6166.64			
Volúmen del molde	cc		4083.00				
Peso Unitario en condición Seca	Kg/m <sup>3</sup>	1520.45	1509.84	1510.32			
Peso Unitario Seco promedio	Kg/m <sup>3</sup>		<b>1513.54</b>				

APROBADO POR:

  
**ing. Renzo Marchese Pretell**  
 JEFE DE QA/QC  
 CONSORTIO CONSTRUCTOR DEL SUR

Anexo 22: Analisis cuantitativo del rendimiento de produccion Vs valor de factores influyentes

		FACTORES PATRON PARA HACER LA COMPARACION										
		ESCENARIO 2 (Planta Km 338+700)										
		Rend. Prom (T/h)	Desv. Estándar	F1	F2	F3	F4	F5				
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	26	1	0.11	2.28	2	22	80				
	ARENA ≤1/4"	56.5	10.5	0.40	2.28	2	22	80				
	Total Grav + Arena	82	11	0.50	2.28	2	22	80				
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	19	1	0.06	2.28	2	22	80				
	ARENA ≤1/4"	52	1	0.40	2.28	2	22	80				
	Total Grav + Arena	71	1	0.46	2.28	2	22	80				

		FACTORES A NORMALIZAR RESPECTO AL ESCENARIO 2 Y HACER LA CORRELACION DEL RENDIMIENTO										
		ESCENARIO 1 (Planta Km 276+350)										
		Rend. Prom (T/h)	Desv. Estándar	F1	F2	F3	F4	F5				
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	17.5	2.5	0.11	0.87	1	27	70				
	ARENA ≤1/4"	43.5	11.5	0.34	0.87	1	27	70				
	Total Grav + Arena	60.5	13.5	0.46	0.87	1	27	70				
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	16	2	0.07	0.87	1	27	70				
	ARENA ≤1/4"	37	10	0.34	0.87	1	27	70				
	Total Grav + Arena	53	9	0.42	0.87	1	27	70				

		Pesos					$\sum_{i=1}^5 K_i = 1$		$\Delta Rend. Prom = \sum_{i=1}^5 \Delta F_i \cdot K_i$			
		K1	K2	K3	K4	K5						
		0.4	0.1	0.3	0.1	0.1						
		Factores Normalizados (Escenario 1/Escenario 2)										
		Δ Rend. Comparación	Δ F1	Δ F2	Δ F3	Δ F4	Δ F5	Δ <sub>(R1/R2)</sub>	Δ Rend. Prom	% Error(±)	Aceptación	
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	0.673	1.000	0.382	0.5	1.227	0.875	0.673	0.798	18.617	No	
	ARENA ≤1/4"	0.770	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.770	0.738	4.095	Ok	
	Total Grav + Arena	0.738	0.920	0.382	0.5	1.227	0.875	0.738	0.766	3.874	Ok	
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	0.842	1.167	0.382	0.5	1.227	0.875	0.842	0.865	2.725	Ok	
	ARENA ≤1/4"	0.712	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875	0.712	0.738	3.773	Ok	
	Total Grav + Arena	0.746	0.913	0.382	0.5	1.227	0.875	0.746	0.764	2.294	Ok	
									<b>% Error promedio(±)</b>	<b>3.352</b>		

$$\% \text{ Error}(\pm) = \frac{(\frac{R1}{R2} - \Delta \text{Rend. Prom})}{\Delta \text{Rend. Prom}} \cdot 100$$

Anexo 23: Estimación del rendimiento por tamaño de agregado (Gravilla 1/2"-Arena 1/4" y Gravilla 3/8"- Arena 1/4")

DATOS GENERALES DE COMPARACION							FACTORES NORMALIZADOS					
ESCENARIO 2 (Factores patron de comparacion)							ESCENARIO XI (Factores para otras condiciones)					
		Rend. Prom (T/h)	F1	F2(H/F)	F3(n° Allm.)	F4(%Abrasion)	F5(%Vibracion)	K1	K2	K3	K4	K5
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	26	0.11	2.28	2	22	80					
	ARENA ≤1/4"	56.5	0.40	2.28	2	22	80					
	Total Grav + Arena	82	0.50	2.28	2	22	80					
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	19	0.06	2.28	2	22	80					
	ARENA ≤1/4"	52	0.40	2.28	2	22	80					
	Total Grav + Arena	71	0.46	2.28	2	22	80					
	PUS(t/m <sup>3</sup> )	F1(Gran.)	F2(Hum/Fln)	F3(n° Allm.)	F4(%Abrasion)	F5(%Vibración)	Δ F1	Δ F2	Δ F3	Δ F4	Δ F5	
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	1.54	0.11	0.87	1	27	70	1.000	0.382	0.5	1.227	0.875
	ARENA ≤1/4"	1.7	0.34	0.87	1	27	70	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875
	Total Grav + Arena		0.46	0.87	1	27	70	0.920	0.382	0.5	1.227	0.875
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	1.56	0.07	0.87	1	27	70	1.167	0.382	0.5	1.227	0.875
	ARENA ≤1/4"	1.7	0.34	0.87	1	27	70	0.850	0.382	0.5	1.227	0.875
	Total Grav + Arena		0.42	0.87	1	27	70	0.913	0.382	0.5	1.227	0.875

DATOS DE SALIDA RENDIMIENTOS ESTIMADOS EN t/h y m <sup>3</sup> /h, SEGÚN TAMAÑO DE AGREGADO						DATOS DE SALIDA			
			Rendimientos estimados en (T/h)			Rendimientos estimados en (m <sup>3</sup> /h)			
	Δ Rend. Pro	Rend. Prom (T/h)	Δ (Desv. Estándar)	Rend. Min(T/h)	Rend. Máx(T/h)		Rend. Min(m <sup>3</sup> /h)	Rend. Máx(m <sup>3</sup> /h)	
COMBINACION 1	GRAVILLA ≤1/2"	0.798	20.758	1.813	18.946	22.571	GRAVILLA ≤1/2"	12.302	14.656
	ARENA ≤1/4"	0.738	41.719	11.042	30.677	52.760	ARENA ≤1/4"	18.045	31.036
	Total Grav + Arena	0.766	62.844	12.354	50.489	75.198	Total Grav + Arena	30.348	45.692
COMBINACION 2	GRAVILLA ≤ 3/8"	0.865	16.436	1.536	14.900	17.972	GRAVILLA ≤ 3/8"	9.551	11.520
	ARENA ≤1/4"	0.738	38.396	5.821	32.575	44.217	ARENA ≤1/4"	19.162	26.010
	Total Grav + Arena	0.764	54.216	5.286	48.930	59.501	Total Grav + Arena	28.713	37.531