ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Mejoramiento del Proceso de Producción en una Planta de Agregados”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Jorge Alfredo Monroy Baquerizo

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2.005

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una manera u otra colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ignacio Wiesner Director de Tesis que me supo guiar a desarrollar este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MI HIJA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Dr. Alfredo Barriga R.	Ing. Ignacio Wiesner F.
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP	DIRECTOR DE TESIS
PRESIDENTE	

_____

Ing. Mario Patiño A.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR **POLITÉCNICA DEL LITORAL"**

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Jorge Alfredo Monroy Baquerizo

RESUMEN

En la presente tesis se presenta de una manera práctica el mejoramiento del proceso de producción en una planta de agregados, que involucra la eliminación del almacenamiento de 100 Toneladas por día aproximadamente de piedras de medida superior (sobre tamaño) a la abertura de alimentación de la trituradora existente, por lo que se tomó la decisión de introducir al proceso una trituradora primaria de mandíbula de mayor capacidad.

Para de esta forma incrementar la producción de agregados fino y grueso, que tienen gran demanda en el mercado local y con esta acción reducir los costos de producción.

Es importante señalar que la planta trituradora primaria tipo mandíbula seleccionada tendrá incorporados los siguientes equipos auxiliares montados sobre un chasis tipo estacionario (esquí): tolva receptora de los gruesos, alimentador vibratorio de velocidad variable con grillas, una banda transportadora colectora de material bajo la trituradora, banda transportadora

móvil que alimentará el circuito de la secundaria o a pila de almacenamiento intermedio.

La solución aplicada a este caso, es de tal forma que la capacidad calculada para la trituradora primaria esta dentro del rango de producción dado por el fabricante para la máquina empleada.

Para determinar las variaciones en el sistema al introducir la nueva máquina, se harán las evaluaciones con respecto a: capacidad de máquina, calidad de los productos, índices técnicos operativos, y la más importante la evaluación financiera, en donde se efectuara un análisis incremental (de la situación base con respecto a la situación con proyecto).

Se demostrará que la inversión realizada con capital propio es de gran beneficio para la empresa, ya que el valor actual neto es positivo y la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento empleada.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……..II

ÍNDICE GENERAL……III

ABREVIATURAS……V

ÍNDICE DE FIGURAS……..VI

ÍNDICE DE TABLAS……VII

ÍNDICE DE PLANOS……..VIII

INTRODUCCIÓN ……....1

CAPÍTULO 1

1. **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA……3**

   1.1. Descripción de la Planta de Agregados……4

   1.2. Características Físicas del Material de la Mina……13

   1.3. Acumulación Histórica de Sobre tamaños……17

   1.4. Costos e Índice de Producción por Acumulación de Sobre tamaños……20

CAPÍTULO 2

2. MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN…….23

   2.1 . Determinación de Capacidad de Máquina Requerida……....23

2.2. Selección de Máquina para Trituración Primaria……24

2.3. Montaje y Puesta en Marcha……..33

2.4. Costos e Índice de Producción Introducidos en el Sistema. ……40

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS REALIZADOS…….46

3.1. Capacidad de Producción……46

3.2. Calidad de los Productos…….48

3.3. Índices Técnicos de Operación……...50

3.4. Evaluación Financiera……...52

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……58

4.1. Conclusiones……..58

4.2. Recomendaciones……60

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A	Amperio
AV	Alimentador Vibratorio
BT	Banda Transportadora
CV	Criba Vibratoria
d	Diámetro
E	Electrodo
EBIT	Utilidad Operativa (Earn Before Intereses & Taxes)
FNE	Flujo Neto Efectivo
ft	Píe
gr	Gramo
h	Hora
HP	Caballo de Potencia
Io	Inversión Realizada
i	Tasa de Rendimiento Requerida
in	Pulgada
Kg	Kilogramo
KVA	Kilovoltamperio
L	Litros
ml	Mililitros
mm	Milímetro
Mpa	Mega Pascal
M3	Metro Cúbico
n	Tiempo de operación de la Mina
(P/F,i%,n)	Factor de Valor Actual de Pago Único
PS	Planta Fija
QB	Trituradora o Quebradora
ROI	Retorno Sobre la Inversión
RPM	Revoluciones por Minuto
s	Segundos
TIR	Tasa Interna de Retorno
Tm	Tonelada Métrica

TPD	Toneladas por Día
TPH	Toneladas por Hora
TL	Tolva Alimentación
USD	Dólar Estadounidense
µm	Micras
VAN	Valor Actual Neto
VGF	Alimentador Vibratorio con Grillas
VS	Valor de Salvamento

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 1.1 Explotación a Cielo Abierto.....5
Figura 1.2 Equipos del Proceso.....7
Figura 1.3 Tolva Receptora de Material.....8
Figura 1.4 Cribas Vibratorias.....9
Figura 1.5 Trituradora Primaria.....11
Figura 1.6 Bandas Transportadoras.....12
Figura 1.7 Diagrama de Proceso Actual de Producción de Agregados.....14
Figura 1.8 Corte Roca Sedimentaria.....16
Figura 1.9 Sobre tamaño Almacenado.....19
Figura 2.1 Componentes Trituradora Mandíbula 29
Figura 2.2 Regulación Lado Cerrado.....31
Figura 2.3 Planta Fija 2036 PS/VGF.....32
Figura 2.4 Montaje Planta.....37
Figura 2.5 Descarga de Material..... 42
Figura 2.6 Alimentador Vibratorio con Grillas.....43
Figura 2.7 Material Alimentado a la Trituradora de Mandíbula.....44
Figura 2.8 Trituración de la Grava.....45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Acumulación Anual de Sobre tamaño	18
Tabla 2	Costo Anual por Existencia de Sobre tamaño	21
Tabla 3	Requerimiento de Producción	25
Tabla 4	Datos Técnicos para Selección de Trituradora Primaria	27
Tabla 5	Pesos Instalados	34
Tabla 6	Materiales Utilizados	35
Tabla 7	Tareas Ejecutadas	36
Tabla 8	Secuencia de Encendido y Apagado de los Equipos	39
Tabla 9	Costo Unitario de Producción	41
Tabla 10	Capacidad Teórica	47
Tabla 11	Evaluación de los Índices Técnicos	52
Tabla 12	Evaluación Financiera	54

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Diagrama de Flujo Actual Planta de Agregados
Plano 2 Diagrama de Flujo Mejorado Planta de Agregados
Plano 3 Diagrama del Proceso de Producción Mejorado Planta de Agregados

INTRODUCCIÓN

La compañía en donde se efectuó el mejoramiento del proceso de producción se dedica a la explotación de la piedra Grava obtenida del depósito aluvial del río Ambato en el sector conocido como La Peninsula. Posterior a esto el material se alimenta a un proceso que tiene bien definidas las etapas de: recepción, trituración, clasificación y transporte de material; se obtienen productos tales como son los Agregados Finos, Gruesos, Empedrado, para abastecer de productos de calidad al sector de la construcción de Ambato, y ciudades cercanas. Se propuso incrementar la producción en un veinticinco por ciento, ya que se iban a concretar en la ciudad proyectos en donde la demanda de producto era muy importante. Es entonces muy necesario aprovechar el sobre tamaño, un recurso que esta almacenado y es considerado una carga para el sistema y obviamente no genera utilidad,

El objetivo de este trabajo es presentar el mejoramiento del proceso de producción en ésta planta productora de agregados, introduciendo al proceso una planta trituradora primaria de mayor capacidad en abertura de alimentación y por ende en producción, logrando de ésta forma: triturar las piedras denominadas sobre tamaño, reducir los costos de producción,

mejorar la calidad de los productos, reducir tiempos muertos por paradas de producción, lo más importante es la generación de una utilidad sobre la inversión realizada.

Durante mucho tiempo se ha tratado de solucionar el problema de sobre tamaño, pero por razones de disponibilidad de equipos no se ha logrado hacer nada al respecto.

CAPÍTULO 1.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La materia prima procedente de la mina, tiene como tamaño máximo de alimentación una piedra de longitud igual a 800 mm por una sección circular de radio igual a 400 mm, la trituradora primaria actual tiene una abertura de alimentación de 800 mm por 130mm; por lo que el 17% (en promedio) correspondiente al sobre tamaño no entra al proceso. Provocando un almacenamiento de dicho "producto". En este capítulo se describe la planta de agregados, luego de esto se dan las características físicas del material que se extrae.

Es importante presentar la acumulación histórica de sobre tamaños para determinar los costos e índices de producción debidos a su inventario y su almacenamiento.

1.1 Descripción de la Planta de Agregados.

El Ministerio de Obras Públicas (8) da la siguiente definición para el agregado o árido: “es el nombre genérico para distintos tipos de partículas minerales, de diferentes tamaños que proceden de la fragmentación natural o artificial de las rocas”.

La explotación de los **agregados o áridos** se realiza casi siempre a cielo abierto.

La concepción y el diseño de las explotaciones así como la técnica operativa empleada varían cuando se trata de extraer rocas masivas o materiales sin consolidar, en vía seca o en vía húmeda. Sin embargo hay ciertas analogías que se pueden citar dentro de los métodos de explotación.

El proceso comienza desgarrando la ladera de la montaña con una excavadora (Figura 1.1), el material proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos menores que 800 mm de largo.

Para obtener productos terminados aptos para el consumo de la industria de la construcción: hormigones hidráulicos y asfálticos, bases, sub-bases y empedrado en calles y carreteras, se combinan distintas etapas.

FIGURA 1.1 EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

Se debe tener presente que los valores de producción actual son: 74 TPH para el proceso/ 12,50TPH de sobre tamaño/ 61,50TPH que entra al proceso.

Las etapas básicas de la planta son: trituración primaria, clasificación y transporte (Los equipos utilizados se presentan en la Figura 1.2), separadas de la siguiente forma: Recepción de la materia prima original en una tolva (con grillas) con 5 Tm de capacidad, aquí se separa el sobre tamaño de –800+125 mm, el material menor que 125 mm entra al proceso, vea la Figura 1.3.

Clasificación inicial que se realiza con una criba vibratoria marca POWER SCREEN (Figura 1.4) de dos pisos: 4 ft x 8 ft de 150 TPH, en el primer piso va una malla cuadrada de abertura equivalente a 100 mm = 4” y en el segundo piso una de 37.5 mm = 1 ½”. Esta criba recibe el tamaño –125+0 mm, en el primer piso se presenta el retenido de –125+100 en un 45%, logrando pasar el 55%, en el segundo piso se presenta un pasante del tamaño de –37.5+0 mm en un 17% que va a la clasificación final, por lo que el retenido entre el primero y segundo piso corresponde al material de -100+37,50 es del 38 % y se redirige al circuito de trituración.

FIGURA 1.2 EQUIPOS DEL PROCESO

FIGURA 1.3 TOLVA RECEPTORA DE MATERIAL

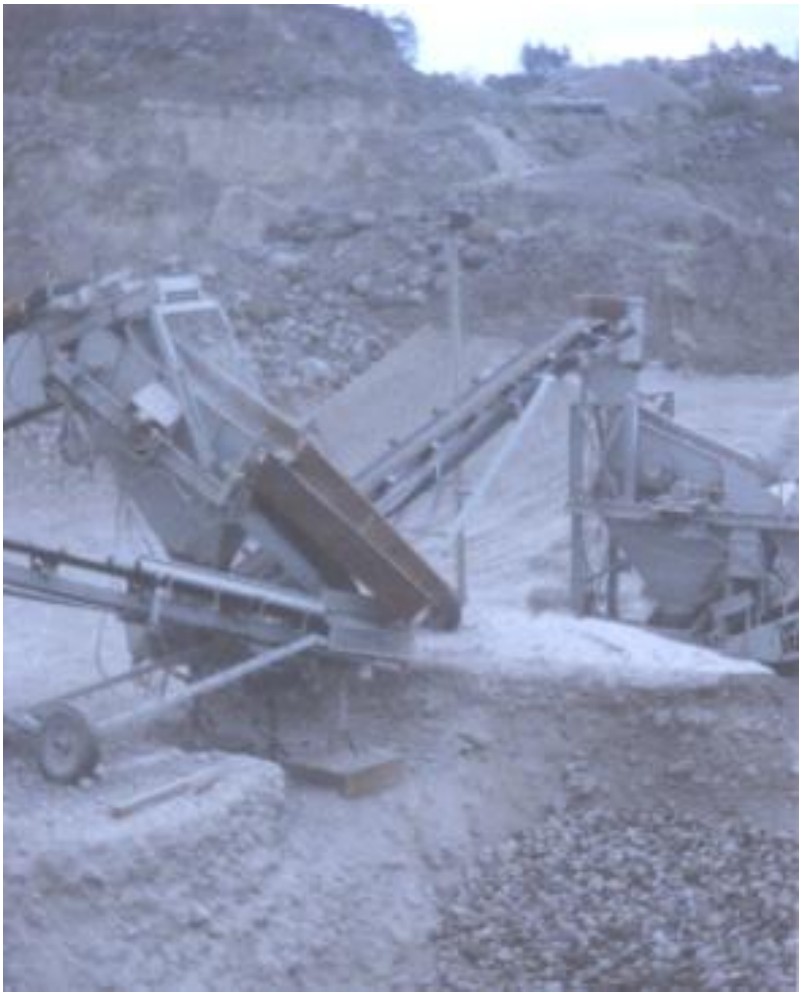


FIGURA 1.4 CRIBAS VIBRATORIAS

Los porcentajes son obtenidos del apéndice C, entrando con una regulación de 125 mm = 5”, para malla de 100 mm = 4” el pasante es del 55%, para una malla de 37,50 mm =1 ½” el pasante es del 17%, por diferencia obtenemos los demás porcentajes: 45% de retenido = (100-55)%, 38% de retenido = (55-17)%.

Trituración primaria realizada en circuito abierto con una trituradora de mandíbula marca FACO modelo 8013C (Figura 1.5) con una abertura de entrada de material de 130 x 800 mm, una capacidad de 30 TPH y que trabaja con una regulación de 12 mm.

Transporte (alimentación o descarga) realizado con bandas transportadoras (Figura 1.6), para mover y dirigir el material en el proceso de una unidad a otra o a las pilas de almacenamiento.

Clasificación final que se realiza con una criba vibratoria marca TELSMITH (Figura 1.4) de dos pisos: 4 ft x 8 ft de 150 TPH, en el primer piso va una malla cuadrada de abertura equivalente a 19 mm = 3/4” y en el segundo piso una de 4,75 mm = Tamiz 4. Esta criba recibe el tamaño –38+0 mm; en el primer piso se presenta el retenido de –-38+19 mm (Piedra No. 4), en un 70% logrando

FIGURA 1.5 TRITURADORA PRIMARIA

FIGURA 1.6 BANDAS TRANSPORTADORAS

pasar el 30%, en el segundo piso se presenta un pasante del tamaño de –4,75+0 mm (Arena) en un 7% que va a la clasificación final, por lo que el retenido entre el primero y segundo piso corresponde al material de –19+4,75 mm (Piedra No. 67) es del 23%.

Estos porcentajes son obtenidos del apéndice B, entrando con una regulación de 37,5 mm = 1 1/2", para malla de 19 mm = 3/4" el pasante es del 30%, para malla de 4,75 mm = 4M el pasante es del 7%, por diferencia obtenemos los demás porcentajes de retenido: 70% = (100-30)%, 23% = (30-7)%.

Con los equipos mencionados arriba, el diagrama de flujo del proceso de producción de agregados se presenta en la Figura 1.7.

1.2. Características Físicas del Material de la Mina.

La mina de donde se extrae la materia prima es un depósito aluvial del río Ambato, correspondiente al sector La Península.

La roca conglomerado es de origen sedimentaria detrítica y el sedimento es la grava (Figura 1.9).

FIGURA 1.7 DIAGRAMA DEL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

Las características y propiedades físicas del material influyen en la selección del acero con que deberán estar constituidos los liners de la trituradora que se va a emplear. Entre las principales propiedades se cuentan:

Roca:	Conglomerado
Material:	Grava
Forma:	Redondeada (piedra bola).
Textura superficial:	Cristalina, grano fino.
Mineral presente:	Sílice.
Color:	Gris claro.
Dureza:	6 (escala Mohs).
Abrasividad:	Abrasivo (Prueba de Abrasión de Los Ángeles 34%).
Resistencia a la compresión:	136 MPa.
Densidad:	1.600 Kg/M3.

El material procesado tiene una clase o código de descripción, dado en el manual Telsmith (13). Grava: D36 30 º X 16,06:

- D – Tamaño grano sobre 13 mm.
- 3 – Ángulo del transportador 20º a 30º.
- 6 – Muy abrasivo.
- 30 º – Ángulo de reposo.

FIGURA 1.8 CORTE ROCA SEDIMENTARIA

1.3 Acumulación Histórica de Sobre tamaños.

Como se dijo al inicio del capítulo, el problema se presenta debido a que inicialmente no se tenía una trituradora de mayor abertura, que pueda triturar el sobre tamaño, y además porque éste producto no tenía gran demanda en el mercado local.

La operación de la planta comienza en Julio de 1.996, fecha en la que se producían aproximadamente 590 TPD, repartidas de la siguiente forma 490 TPD como producto terminado, y 100 TPD de sobre tamaño.

Es decir que al año se obtienen en promedio: 24.641 Tm de sobre tamaño, de las cuales se venden en 249 Tm, y la cantidad que se desaloja llega a 24.392 Tm. En el plan de inversiones anuales que efectúa la empresa, se determina que para mediados del año 2.001, deberá operar la trituradora de mayor capacidad.

La información correspondiente a la producción establecida dentro del período Julio-1.996 hasta Junio-2.001, se resume en la tabla 1 junto a la acumulación anual de sobre tamaño.

En la figura 1.9 se aprecia el almacenamiento del sobre tamaño.

TABLA 1

ACUMULACIÓN ANUAL DE SOBRE TAMAÑO

Año	Producción Total, Tm	Sobre tamaño, Tm		
		Producción	Ventas	Desalojo
1.996	70.770	12.032	120	11.911
1.997	144.450	24.530	245	24.285
1.998	144.564	24.522	245	24.277
1.999	146.207	24.946	260	24.686
2.000	146.643	24.696	250	24.446
2.001(I)	73.126	12.477	125	12.352
Total, Tm	**725.762**	**123.202**	**1.246**	**121.957**

FIGURA 1.9 SOBRE TAMAÑO ALMACENADO

1.4 Costos e Índices de Producción por Acumulación de Sobre tamaños.

La acumulación de sobre tamaño, involucra implícitamente el aumento de los costos de producción: por inventario y por desalojo.

a. Costo por inventario.

El costo de la materia prima en bruto (antes de la explotación) es de 1,40 USD/Tm, y el costo de explotación es de 0,40 USD/Tm. Al no existir una gran demanda del sobre tamaño, éste se queda inventariado y su costo es entonces la suma de los dos anteriores: 1,80 USD/Tm.

b. Costo por desalojo.

El ciclo de desalojo del sobre tamaño comprende dos fases: carga efectuada por la excavadora, y transporte realizado por dos volquetas.

Después de terminada la jornada diaria, se efectuaba el desalojo correspondiente a las 100 TPD de sobre tamaño, según la memoria técnica correspondiente a este rubro se necesitaban 1 excavadora con capacidad de cucharón de 1,40 Tm y 2 volquetas de 17 Tm de capacidad c/u.

TABLA 2

COSTO TOTAL POR EXISTENCIA DE SOBRE TAMAÑO
QUINQUENIO (1.996 – 2.001)

RUBRO	COSTO, USD/Tm	Tm	COSTO, USD
INVENTARIO	1,80	121.957	219.523
DESALOJO	0,40	121.957	48.783
TOTAL GASTADO, USD			**268.306**

El costo por desalojo llegaba al valor de 0,40 USD/Tm. Durante el quinquenio (1.996-2001) se “gastaron” aproximadamente por la existencia de sobre tamaño aproximadamente 268.000 USD. En la tabla 2, se resumen los costos.

Es decir que el costo promedio anual era de 53.661 USD para mantener la existencia de 24.520 Tm de sobre tamaño al año.

CAPÍTULO 2.

2. MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Al no disponer de una trituradora primaria desde el comienzo de la operación, la acumulación de sobre tamaño en la planta, contribuía para que el proceso resulte menos eficiente y por lo tanto más costoso. El objetivo para mejorar los procesos de producción, es lograr las mayores eficiencias con los costos más bajos de producción. En este capítulo se determinará la capacidad de máquina requerida. Se seleccionará la máquina para trituración primaria en base a la información técnica entregada a la Cía. TELSMITH; se detalla el montaje y puesta en marcha, así como los índices de producción introducidos en el sistema.

2.1 Determinación de Capacidad de Máquina Requerida.

La planificación de la producción se hace con respecto al total de las reservas explotables, es importante determinar la vida útil de la mina

(tiempo vida útil de la mina mayor que el tiempo recuperación inversión), turnos de operación, etc.

La capacidad de la trituradora depende de factores tales como: calidad de la roca: densidad, dureza, abrasividad, humedad, tipo de alimentación: tamaño, flujo constante, abertura de descarga: tamaño de producto.

En base a la capacidad anterior, cantidad de sobre tamaño que se alimentará, incremento de producción, el requerimiento (TPH) para la piedra en la trituradora primaria se detalla en la tabla 3.

2.2 Selección de Máquina para Trituración Primaria.

Los principios básicos de los procesos mecánicos de reducción de tamaño son los tres siguientes: un golpe de martillo, la trituración por compresión, acción de corte o de cizallamiento.

Estos principios pueden ir combinados, o no.

La presión o compresión es una acción de exprimido entre dos superficies. que fuerzan el material a través de un espacio limitado, y es seleccionada en base a los siguientes criterios:

TABLA 3

REQUERIMIENTO DE PRODUCCIÓN

Descripción		Requerimiento
Total reservas explotables a Jul-2001, Tm		597.402
Sobre tamaño almacenado, Tm		122.598
Total triturable, Tm		720.000
Producción anterior anual, Tm		145.459
Incremento de Producción, %		25
Ritmo de producción anuales, Tm		181.824
Vida de la mina, años		3,29
Tiempo máximo de la operación, años		3,96
Turnos de operación para primaria,	h/1turnoxdía	6
	díasxaño	250
	hxaño	1.500
Producción requerida, TPH		121

- Material duro y abrasivo.
- Requerimiento de un producto uniforme con una mínima cantidad de finos.

Las máquinas para la reducción primaria (o grosera) de tamaños se alimentan con materiales de –2500+50 mm, ó más. Para materiales duros se utilizan las trituradoras de mandíbulas, giratorias (1).

La compañía estadounidense TELSMITH INC, con aproximadamente un siglo de experiencia en el diseño, construcción, asesoramiento técnico en plantas de agregados, fue la encargada de seleccionar la máquina para trituración primaria, con un gran rendimiento sobre la piedra grava a triturar.

La tabla 4 resume la información suministrada a dicha compañía para la selección de la trituradora.

Las características técnicas de la trituradora seleccionada se dan a continuación:

Tipo: Mandíbula de acero al manganeso (13%).

Modelo: 2036

TABLA 4.

DATOS TÉCNICOS PARA SELECCIÓN DE TRITURADORA PRIMARIA

Descripción	Valor
Material	Grava
Dureza, Mohs	6
Tamaño de alimentación, mm	800 x 400
Tamaño de producto, mm	125
Factor de reducción	6
Producción requerida, TPH	121

Potencia del motor: 100 HP

Velocidad: 265 RPM

Regulación lado cerrado: 75-150 mm

Rango de producción: 80-210 TPH

Regulación para obtener producto de 125 mm: 113 mm

Producción para regulación de 113 mm: 150 TPH.

En el apéndice D se dan los datos técnicos de una gama de trituradoras de mandíbula Telsmith.

En la Figura 2.1 se presentan los componentes principales de la trituradora del tipo de mandíbula (o quijada) tiene una gran abertura rectangular situada en la parte superior entre las dos placas de trituración o mandíbulas, y las paredes laterales.

Estas trituradoras se identifican por su abertura superior en pulgadas, por ejemplo una trituradora 30X42: 30 in (de ancho) es la separación normal en la parte superior de las mandíbulas y 42 in (de largo) es el medida entre las paredes laterales.

Las mandíbulas convergen hacia el fondo, dejando una abertura larga y angosta.

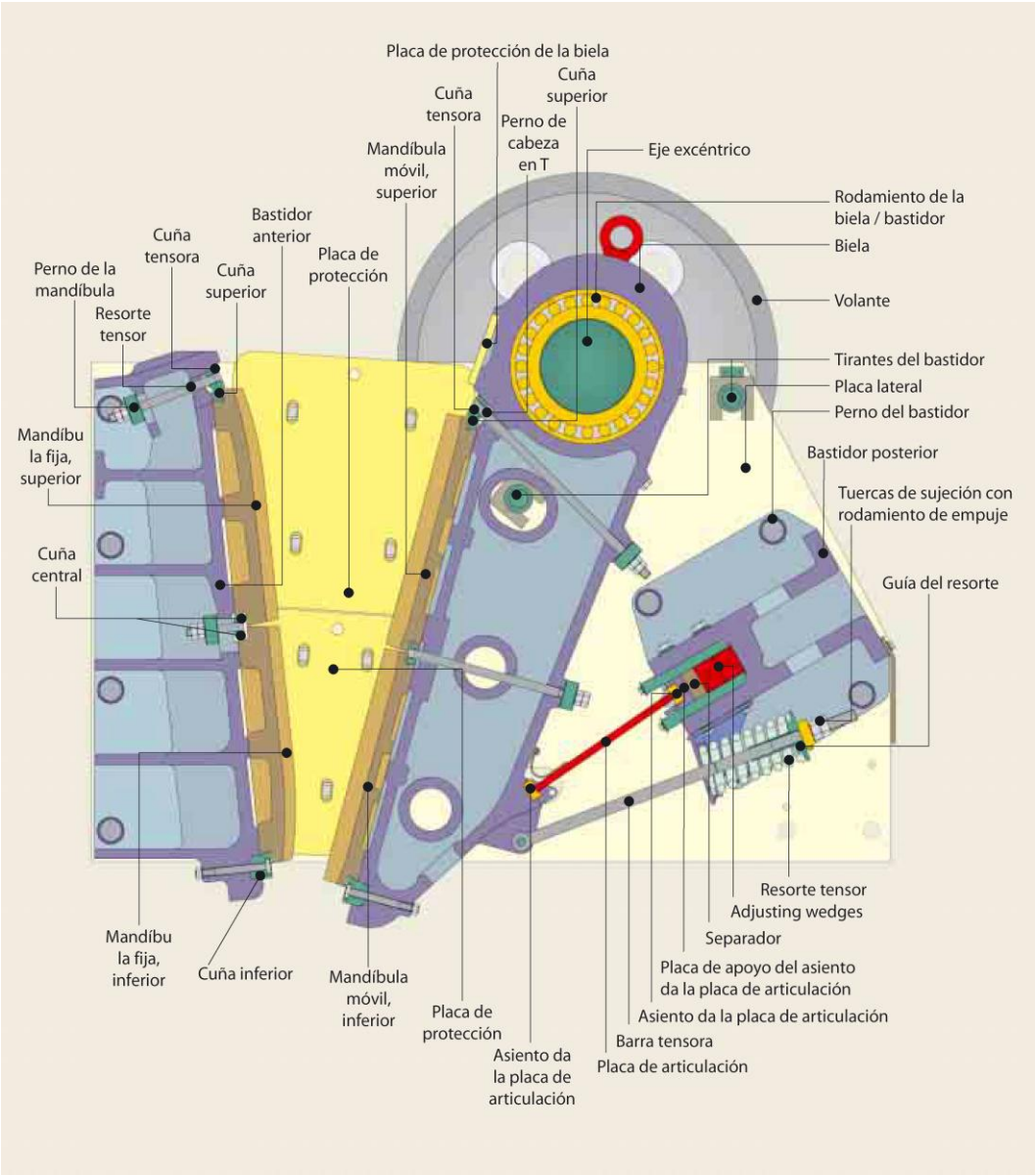


FIGURA 2.1 COMPONENTES TRITURADORA MANDÍBULA

La dimensión pequeña de esta abertura del fondo es el ajuste o regulación del lado cerrado de descarga de la trituradora (x), que se presenta en la Figura 2.2.

Es importante señalar que la planta trituradora primaria seleccionada tendrá incorporados los siguientes equipos auxiliares montados sobre un chasis tipo estacionario (esquí): tolva receptora de los gruesos (30 Tm), alimentador vibratorio de velocidad variable (16 ft X 36 in) con grillas (5 ft), una banda transportadora (31 ft X 40 in) colectora de material bajo la trituradora, banda transportadora móvil (60 ft X 24 in) que alimentará el circuito de la secundaria o a pila de almacenamiento intermedio (ver Figura 2.3).

Se empleará entonces la planta fija 2036 PS/VGF:

- Ancho X Largo (in): 2036
- Planta Fija: PS
- Alimentador Vibratorio con Grillas: VGF

En los planos 2 y 3 se presenta los diagramas del proceso y de flujo de la planta con las modificaciones introducidas.

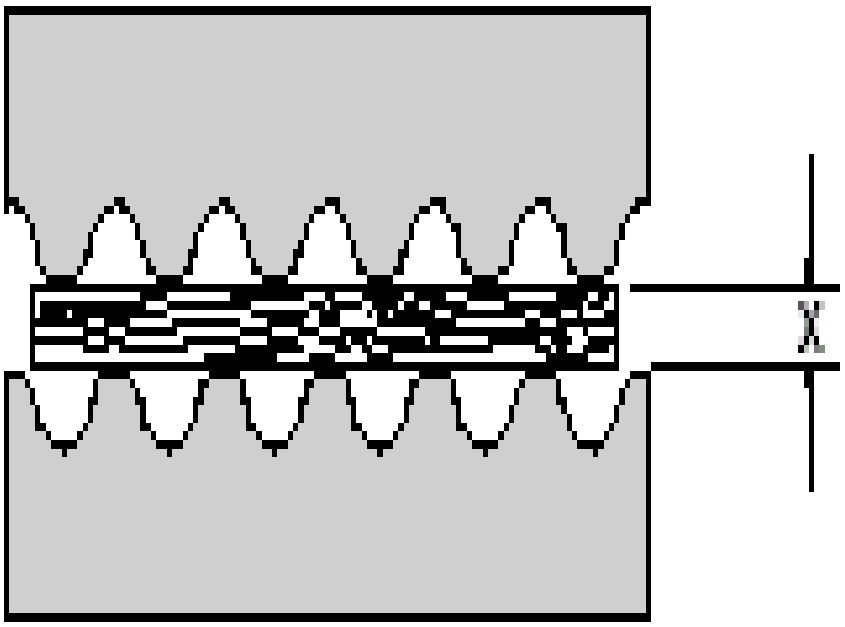


FIGURA 2.2 REGULACIÓN LADO CERRADO

FIGURA 2.3 PLANTA FIJA 2036 PS/VGF

2.3 Montaje y Puesta en Marcha.

Para la ejecución del proyecto se definen varios puntos importantes para la ejecución del proyecto: pesos a instalar, compras de repuestos y materiales, plan de construcción y montaje, puesta en marcha.

a. Pesos a instalar.

Se presentan en la tabla 5 los valores de los pesos de las máquinas y equipos traídos y que se instalaron, dichos pesos son útiles para determinar la capacidad de la grúa a usar.

b. Materiales y repuestos utilizados.

Los materiales y repuestos a comprar, son el resultado de los requerimientos para el montaje del sistema tales como: hormigón, materiales eléctricos, planchas de acero, pernos, madera, entre otros que se presentan en la tabla 6.

c. Plan de construcción y montaje.

En el plan de construcción descrito en la tabla 7, se resumen: el tiempo invertido, las cuatro cuadrillas empleadas: obra civil, obra metal mecánica, montaje y obra eléctrica. Se empleo una grúa de 40 Tm para el montaje. En el apéndice E se muestra un diagrama de GANTT en donde se ve el desarrollo de la ejecución del proyecto.

TABLA 5

PESOS INSTALADOS DE EQUIPOS

Equipo	**Peso, Tm**
Planta trituradora estacionaria	45.00
Transportador BT-2	3.60
Chutería	0.15
Cubículo arranque sistema	1.00
Generador eléctrico	3.50
Total, Tm	**53.25**

TABLA 6

MATERIALES UTILIZADOS

Ítem	Descripción	Datos Técnicos	Usado en
1	Sub-base	-38+0 mm	Cimentación planta
2	Madera eucalipto	0.25 m X 0.25 m X 0.60 m	Cimentación planta
3	Pernos acero	Grado 5, 25 mm X 38 mm	Estructura planta
4	Plancha naval	Acero A36, 4 mm	Alimentador, cajas
5	Oxígeno y gas		Corte metal
6	Soldadura eléctrica	E-7018, Ø=1/8"	Alimentador, chutes
7	Tubo cuadrado	75 mm X 3 mm	Torre para caseta
8	Ángulo	50 mm X 2 mm	Torre para caseta
9	Pintura	Anticorrosiva	Metal
10	Caseta eucalipto	1.22 m X 2 m X 2 m	Control operación
11	Tubería PVC	Uso desagüe, Ø=4"	Conducir cable fuerza
12	Materiales eléctricos	Varios	Fuerza, control, ilum.
13	Cuartones, clavos	Eucalipto 50 mm x 50 mm	Encofrado
14	Hormigón	210 Kg/cm2	Muro contención
15	Hierro	Ø=12 mm	Muro contención
16	Sobretamaño	800 mm @ 0 mm	Rampa acceso planta
Materiales varios			
Lija, diluyente, brocha, alambre quemado,			

.

TABLA 7

TAREAS EJECUTADAS

Ítem	Rubros	Duración, h	Personal empleado, no.
1	**Obra civil:**		
	Desbroce y limpieza	2	2
	Cimentación para estructura	5	3
	Nivelación cimentación	2	2
	Contrapeso hormigón, BT-2	4	3
	Base Torre caseta control	2	2
	Muro contención	40	5
	Excavación para pasar tubería PVC	2	2
	Rampa para tolva alimentación	80	4
2	**Construcción:**		
	Caja transferencia BT-2	4	2
	Torre para caseta control	8	2
	Caseta control	24	2
3	**Mantenimiento:**		
	Tolva alimentación	4	2
4	**Montaje:**		
	Chasis	20	4
	Trituradora	4	4
	Tolva alimentación	8	4
	Banda transportadora, BT-1	4	4
	Banda transportadora, BT-2	2	4
	Torre para caseta control	2	3
	Caseta control	4	3
5	**Instalación:**		
	Eléctrica	30	2
6	**Ajustes**		
	Verificaciones mayores	3	6
	Verificaciones menores	3	3
Total		**257**	12

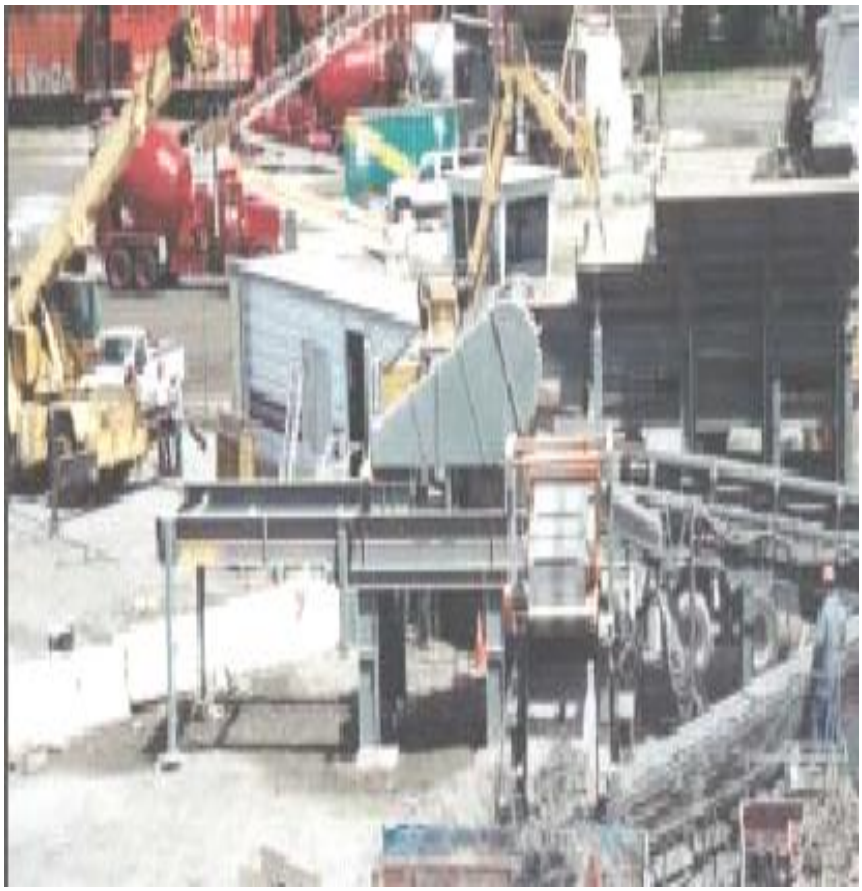


FIGURA 2.4 MONTAJE PLANTA

d. Puesta en marcha.

Una vez que se han realizado los trabajos de verificación y ajustes adicionales, es recomendable establecer las secuencias de encendido y apagado de las máquinas que intervienen en el proceso. El criterio tomado para el encendido es que las máquinas deben arrancar vacías y deben apagarse de igual forma.

La lógica para el encendido debe ser de atrás para adelante, debido a que tienen que estar listos todos los equipos que se encuentran después del alimentador vibratorio (AV-1) del plano 2 del Apéndice A ya que de no ser así ocasionaría derrames, llenando de material los equipos que no están funcionando.

Se recomienda controlar el consumo de corriente a medida que se van encendiendo los motores. Es importante esperar para el encendido: 15 segundos para equipos grandes y 10 segundos para equipos pequeños.

En la tabla 8 se da la secuencia de encendido identificando los componentes de la planta por las respectivas etapas del proceso, por lo que el apagado será considerado de forma inversa, esto es empezando desde el último en la tabla 8.

TABLA 8

SECUENCIA DE ENCENDIDO Y APAGADO DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA

Orden de Encendido	Equipo	Etapa del Proceso	Potencia motor, HP	Consumo corriente, A	Tiempo, s	Orden de Apagado
1	BT-10	Clasificación	7,5	9	10	16
2	BT-9		10	12	10	15
3	BT-8		7,5	9	10	14
4	CV-2		7,5	9	10	13
5	BT-7		7,5	9	10	12
6	BT-6	Secundaria	10	12	10	11
7	QB-2		20	24	10	10
8	AV-2		0,75	1	10	9
9	BT-5		7,5	9	10	8
10	CV-1		7,5	9	10	7
11	BT-4		10	12	10	6
12	BT-3		10	12	10	5
13	BT-2	Primaria	20	22	10	4
14	BT-1		15	18	10	3
15	QB-1		100	114	15	2
16	AV-1		30	35	15	1
Total			**270,75**	**316**	**170**	

2.4 Costos e Índice de Producción Introducidos en el Sistema.

En la tabla 9 se comparan los costos de producción promedio en los procesos anterior y mejorado; esto una vez introducida la planta primaria. Los datos contenidos en ésta tabla son tomados de registros históricos que lleva la planta y constan en el apéndice I.

La inversión efectuada (con capital propio) para la adquisición de los nuevos equipos y el valor del costo por montaje se dan a continuación:

Planta 2036 PS/VGF:	72.000 USD
Banda Transportadora BT-2:	10.000 USD
Generador 313KVA:	28.000 USD
Montaje:	5.000 USD
Total inversión:	115.000 USD

En la Figura 2.5 se aprecia la descarga de material en la planta trituradora primaria.

En la Figura 2.6 se aprecia el alimentador vibratorio con grillas, alimentando el material recibido a la trituradora.

En las Figuras 2.7 y 2.8 se observa a la trituradora en su operación de reducción de tamaño.

TABLA 9

COSTO UNITARIO PROMEDIO DE PRODUCCIÓN

	Proceso Actual		Proceso Mejorado	
	Costo		Costo	
	USD	USD/Tm	USD	USD/Tm
Producción mensual, Tm	12.122		15.055	
Costos Variables				
Materia prima	16.970	1,40	20.983	1,39
Diesel	3.225	0,27	3.859	0,26
Explotación y transporte	4.849	0,40	5.995	0,40
Despacho	4.727	0,39	5.845	0,39
Desalojo	4.848	0,40		
Aceite y grasa	165	0,01	220	0,01
Mat. Mantenimiento	687	0,06	1.070	0,07
Total Costos Variables	**35.471**	**2,93**	**37.972**	**2,52**
Costos Fijos				
Materiales de consumo	325	0,03	530	0,04
Guardianía	2.000	0,16	2.000	0,13
Personal	2.100	0,17	4.200	0,28
Otros gastos	645	0,05	865	0,06
Departamento técnico	1.500	0,12	3.500	0,23
Total Costos Fijos	**6.570**	**0,54**	**11.095**	**0,74**
Costo de Producción	**42.041**	**3,47**	**49.067**	**3,26**
Diferencia de Costos			**7.025**	**5,76%**

FIGURA 2.5 DESCARGA DE MATERIAL

.

FIGURA 2.6 ALIMENTADOR VIBRATORIO CON GRILLAS

FIGURA 2.7 MATERIAL ALIMENTADO A LA TRITURADORA DE MANDÍBULA

FIGURA 2.8 TRITURACIÓN DE LA GRAVA

CAPÍTULO 3.

3. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS REALIZADOS

En este capítulo se evaluarán los cambios ejecutados para determinar si se cumplen los objetivos de reducir costos, incrementar eficiencias, recuperar la inversión, etc.

Se comparará primero con respecto a la capacidad de producción de los equipos, luego con respecto a la calidad de los productos, y finalmente con respecto a los índices técnicos de operación.

3.1 Capacidad de Producción

Las capacidades nominales de las trituradoras primaria y secundaria y de las dos cribas vibratorias se dan en la tabla 10.

TABLA 10

CAPACIDAD TEÓRICA

	TPH, teórica	
EQUIPO	**ANTES**	**ACTUAL**
TRITURADORA I	30	150
TRITURADORA II		30
CRIBA VIBRATORIA 1	150	150
CRIBA VIBRATORIA 2	150	150

En la situación anterior, se determina que el cuello de botella del circuito es la trituradora primaria Faco 8013C (30 TPH), debido a que tiene una capacidad baja con respecto a la criba Telsmith (150TPH), la eficiencia del circuito llega a ser del 62 %, con una producción media de 70 TPH.

Para la situación actual, en la que ahora la trituradora Faco es la secundaria, ésta misma sigue siendo el cuello de botella, ya que es la quinta parte de la capacidad de la trituradora primaria TELSMITH 2036 (150TPH), por lo que habrá que trabajar en la primaria seis horas, y la secundaria aproximadamente el doble de tiempo esto es de doce horas diarias, para poder triturar la diferencia de 80 TPH (=150-70 TPH).

3.2 Calidad De Los Productos

Las propiedades requeridas que definen la calidad de los agregados son básicamente: granulometría (partículas de diferentes tamaños en proporciones adecuadas), forma de la partícula (redondeada fracturada). Características notorias para que el hormigón se haga más trabajable al momento de ser bombeado. La norma internacional para el control de calidad de los agregados se basa en la no. C33-55T de la ASTM, en el apéndice F se muestran las

especificaciones para distintas granulometrías de piedra con sus respectivos límites superior e inferior de porcentaje que pasa por la respectiva malla.

En el apéndice G se da la curva granulométrica de la arena – agregado fino (-4,75+0 mm), determinando una mejoría del producto, ya que se centra más en la curva, y el pasante del tamiz 75 µm disminuye considerablemente de un 13% a un 8%.

Se aprecia las curva granulométrica de la piedra # 67-agregado grueso (-19,0+4,75 mm) en el apéndice H, el producto antes tendía hacia el lado de los finos, pero ahora se centra más.

Las mejoras en la calidad de los agregados han provocado que se ahorre 5 Kg/m3 (promedio) de cemento en el diseño de hormigón, y al reducirse el pasante del tamiz 75 µm en la arena se ha minimizado las fisuras del hormigón.

3.3 Índices Técnicos de Operación

Se van a evaluar los consumos (promedio) desde 1.996 hasta el primer semestre del 2001 con respecto a los del segundo semestre del 2001, 2002 , 2003 y 2.004.

Los datos contenidos en la tabla 11 son tomados de registros históricos que lleva la planta y constan en el apéndice I.

Los índices técnicos de operación más importantes, tales como el consumo: de diesel, aceite, grasa, energía, reflejan una variación significativa, en la tabla 11 se observa la variación

El consumo de diesel (L/Tm) se reduce en 2,03%, debido a la mayor capacidad de producción en la trituradora primaria.

El consumo de aceite (ml/Tm) incrementa en un 8,44%, debido a que se emplea un grupo electrógeno de mayor capacidad.

El consumo de grasa (gr/Tm) por aumento de la producción reduce su consumo en un 1,84%, aunque se incluyen 3 máquinas al sistema.

El consumo de energía (KW-h/Tm) se incrementa levemente en un 3,83 %.

TABLA 11

EVALUACIÓN PROMEDIA DE ÍNDICES TÉCNICOS

CONSUMO	ANTES	DESPUÉS	% VARIACIÓN
DIESEL: (Litros/Tm)	1,06	1,04	-2,03
ACEITE: (miliLitros/Tm)	9,04	9,80	+8,44
GRASA: (gr/Tm)	0,52	0,51	-1,84
ENERGÍA: (KW-h/Tm)	1,18	1,23	+3,83

3.4 Evaluación Financiera

Es importante señalar que la planta ya estaba operativa desde 1.996. Para el análisis financiero se tendrá en cuenta que es un proyecto de ampliación por complemento, es decir se consideran los efectos combinados de las dos plantas (antes y después) que trabajan simultáneamente durante el mismo período de tiempo, es decir desde el 2.001 hasta el 2.004.

La estructura general de construcción de los flujos de caja es la misma, cualquiera que sea el objetivo de la inversión o la finalidad del estudio. Para la situación base (se continua con la maquinaria actual) se estimará el comportamiento de los flujo de caja que efectivamente se esperan para el 2.002, 2.003 y el 2.004, en base a los datos producción y ventas del primer semestre del 2.001; esta información se toma del apéndice J (cuadro 1).

Mientras que para la situación con proyecto (ampliación por complemento), se emplearán los registro históricos de la planta tomados del apéndice J (cuadro 2). Por lo que el flujo de caja debe considerar los efectos combinados de las dos máquinas que actúan simultáneamente. El criterio de comparar la situación base con la situación con proyecto se denomina análisis incremental.

Esta sección demuestra el valor financiero de implementar una planta de trituración primaria utilizando métodos de evaluación tradicionales de: Valor Actual Neto (VAN) incremental (≥ cero), Tasa Interna de Retorno (TIR) incremental (≥ i), Período de Recuperación de Capital (PB) incremental y Retorno Sobre la Inversión (ROI) incremental.

En la tabla 12 se resumen todas las variables que intervienen en el análisis financiero respectivo.

Valor Actual Neto, es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

La ecuación general del valor actual neto (VAN) es la siguiente:

$$VAN = -Io + \sum_{t=1}^{n} FNEt/(1 + i)^t$$

El cálculo del VAN para el período de cuatro años es:

$$VAN = -Io + FNE1/(1 + i)^1 + FNE2/(1 + i)^2 + FNE2/(1 + i)^2 + \\ + FNE3/(1 + i)^3 + [\ FNE4/(1 + i)^4$$

Donde i es la tasa de interés o “tasa de descuento” que se usará para pasar en forma equivalente el dinero futuro al presente, Io es la

inversión inicial en la maquinaria, FNE_1 es el flujo neto efectivo para el primer año, FNE_2 es el flujo de efectivo para el segundo año, etc.

Reemplazando los valores correspondientes a la columna del flujo neto efectivo del análisis incremental de la tabla 12, de la evaluación financiera en la ecuación anterior, tenemos:

VAN = - 136.076 + 33.806/(1+0,20) ^1+65.511/(1+0,20) ^2+

+ 71.717/(1+0,20) ^3 + 161.476/(1+0,20) ^4)

VAN = - 136.076 + 28.172 + 45.494 + 41.503 + 77.872

VAN Incremental = 56.964.

De lo que se deduce claramente que la rentabilidad de la empresa ha mejorado con esta opción.

Tasa Interna de Retorno, es la tasa de interés que hace que el valor actual neto sea cero.

Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

De acuerdo a la segunda definición se puede escribir la ecuación del VAN como sigue:

$$Io = \sum_{t=1}^{n} FNEt/(1 + i)^t$$

$$Io = FNE1/(1 + i)^1 + FNE2/(1 + i)^2 + FNE2/(1 + i)^2 + \\ + FNE3/(1 + i)^3 + [\ FNE4/(1 + i)^4$$

En éste caso, conocemos el valor de Io y también los valores de FNE1, FNE2, ... , FNE4, que son tomados del análisis incremental de la tabla 12, pero no conocemos el valor de "i", por medio de tanteo determinaremos su valor hasta que se cumpla la igualdad.

i @ 40,00% → Io ≠ 125.741

i @ 38,00% → Io ≠ 130.710

i @ 35,97% → Io = 136.076

Por lo tanto, TIR Incremental = 35,97%

Muy superior a la tasa de descuento dada para este proyecto.

Período de Recuperación, el período de recuperación consiste en el número de años que se requiere para recuperar el desembolso de capital inicial del proyecto.

Del análisis incremental de la tabla 12 se determina que los valores para la recuperación de la inversión (negativos) del primer año,

segundo año y tercer año son respectivamente: - 107.904,- 62.411, y – 20.908 mientras que en el cuarto año ya aparece un valor positivo 56.964. El tiempo de recuperación estará entonces entre el tercer y cuarto año, por triángulos semejantes

PB = 3+ [20.908/(20.908+56.964] = 3 + 0,27

PB Incremental = 3,27 años.

Retorno Sobre la Inversión (ROI), es la fórmula de medir la efectividad empresarial, es la relación existente, durante un período determinado entre la utilidad operativa promedio y la inversión total en ella:

$$ROI = \left(\sum_{t=1}^{n} EBIT/n \right) \div Io$$

Reemplazando los valores del EBIT incremental y la inversión total incremental de la tabla 12 en la ecuación anterior, tenemos:

ROI = [(18.011 + 70.851 + 81.195 + 157.333) / 4] ÷ 136.076

ROI = 77.576 ÷ 136.076

ROI Incremental = 57,01%.

CAPÍTULO 4.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

Con relación a las mejoras alcanzadas por mejoramiento del proceso tenemos las siguientes conclusiones:

- Se aumentó la producción en un 24,20%.
- Las ventas se incrementaron en un 22,49%.
- Los costos de producción se reducen significativamente en un 5.76%.
- La eficiencia del sistema mejora en un 19.63%.
- Las mejoras en la calidad de los agregados han generado ahorro 5 Kg de cemento por cada m3 en la dosificación del hormigón,
- Al reducirse el pasante del tamiz 75 µm en la arena se ha minimizado las fisuras del hormigón.

- Aunque los índices técnicos de operación de consumo de aceite, consumo de energía hayan subido, 0.76 ml/Tm y 0.05 KW-h/Tm respectivamente, no se refleja incremento de los costos unitarios de producción porque la producción se incrementa.
- Según la vida útil de la mina (3,29 años), si se continuaba operando sin una primaria, se tendrían que haber desembolsado aproximadamente 176.000 USD más por existencia del sobre tamaño.
- El valor actual neto incremental del proyecto o el saldo después de recuperar la inversión asciende al valor positivo de 56.964 USD, por lo que se ha ganado más que la tasa de requerida de interés.
- La tasa interna de retorno incremental es del 35,97% para un período de cuatro años, indica que la inversión en la planta primaria de trituración tiene una rentabilidad muy superior al valor del dinero en el mercado financiero nacional.
- La inversión realizada en la planta de trituración primaria se recupera prácticamente al finalizar el proyecto, esto es 3,27 años.
- El retorno sobre la inversión incremental es del 60,15%.
- La excavadora y las volquetas se ocuparan solamente de la explotación y transporte, disminuyendo de esta forma la carga e incrementando sus vidas útiles.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el control minucioso de gasto de los insumos para reflejarlos en los índices técnicos de operación.

- Continuar verificando diariamente la granulometría para ajustar las salidas de la trituradoras cuando se presenten los desgastes correspondientes en las muelas; la regulaciones para primaria y secundaria son respectivamente 113 mm y 13 mm.

- Si en el manipuleo de los productos se produce segregación, se recomienda ya no producir la piedra no. 67, sino por separado la piedras no. 6 y no. 7, para de esta forma obtener mejores granulometrías de tales productos.

- Como la vida útil de la mina es relativamente corta y el cuello de botella sigue siendo la trituradora secundaria FACO 8013C; se recomienda para operaciones futuras cambiarla por una trituradora de cono de 150 TPH, para que se reduzcan las operaciones de la secundaria a un solo turno de trabajo, ya que de esta forma la primaria, secundaria y criba final tendrían la misma capacidad teórica instalada, y la eficiencia del circuito llegaría al 95%.

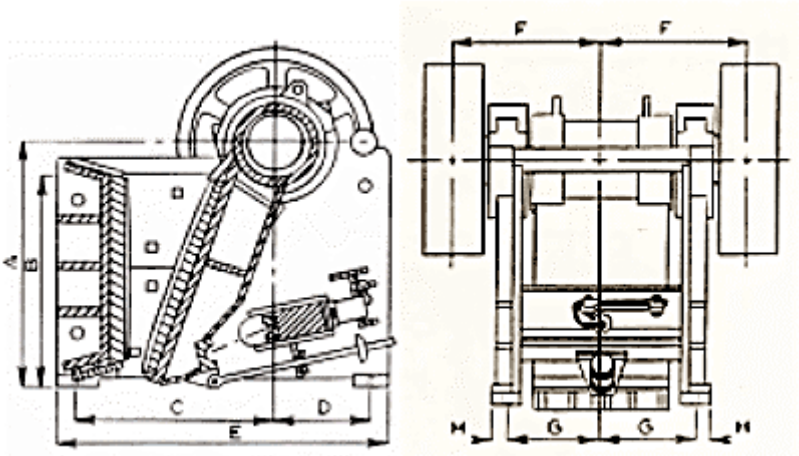
PORCENTAJE DE PASANTE PARA PRODUCTO TRITURADO EN TRITURADORAS DE MANDÍBULA TELSMITH (CIRCUITO ABIERTO) REGULACIÓN DE 1/4" A 3 ½"

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting								
US	mm	Decimal	1/4"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"
6"	150.0	6.00	(% Passing)								100
5"	125.0	5.00							100	100	95
4 1/2"	112.5	4.50							98	95	89
4"	100.0	4.00							96	89	82
3 1/2"	90.0	3.50						100	89	82	73
3"	75.0	3.00					100	93	82	72	62
2 1/2"	63.0	2.50				100	95	81	69	60	52
2"	50.0	2.00			100	97	80	65	55	47	41
1 1/2"	37.5	1.50		100	88	80	63	48	39	33	28
1 1/4"	31.5	1.25	100	93	78	70	56	40	33	29	24
1"	25.0	1.00	98	82	68	55	43	28	25	24	18
3/4"	19.0	0.75	80	62	50	38	30	22	18	18	14
1/2"	12.5	0.50	60	42	33	25	19	14	12	12	10
3/8"	9.5	0.375	41	30	27	19	13	11	9	9	8
4M	4.75	0.187	15	12	11	9	7	6	5	6	5
8M	2.36	0.094	8	7	6	5	5	3	3	4	3
16M	1.18	0.047	4	3	3	3	2	2	2	2	2
30M	0.60	0.023	2	2	2	2	1	1	1	1	1
50M	0.30	0.012	1	1	1	1					

PORCENTAJE DE PASANTE PARA PRODUCTO TRITURADO EN TRITURADORAS DE MANDÍBULA TELSMITH (CIRCUITO ABIERTO) REGULACIÓN DE 4" A 14"

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting								
US	mm	Decimal	4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"	14"
21"	533.0	21.00	(% Passing)							100
20"	508.0	20.00							100	98
18"	457.0	18.00							98	91
16"	406.0	16.00						100	92	84
14"	356.0	14.00						93	85	74
13"	330.0	13.00					100	89	79	69
12"	305.0	12.00					95	85	73	64
11"	279.0	11.00				100	90	78	66	57
10"	254.0	10.00			100	97	85	70	60	51
9"	229.0	9.00		100	98	91	78	63	53	44
8"	200.0	8.00		98	91	85	70	56	46	39
7"	175.0	7.00	100	91	81	76	60	49	40	32
6"	150.0	6.00	92	81	71	65	50	40	33	27
5"	125.0	5.00	80	69	60	51	40	31	26	21
4 1/2"	112.5	4.50	73	62	53	45	35	26	23	18
4"	100.0	4.00	66	55	46	39	30	22	19	16
3 1/2"	90.0	3.50	58	47	39	33	25	20	17	14
3"	75.0	3.00	49	39	32	27	20	17	15	12
2 1/2"	63.0	2.50	39	31	26	22	17	14	12	10
2"	50.0	2.00	28	23	20	17	14	11	10	8
1 1/2"	37.5	1.50	21	17	15	12	10	9	7	6
1 1/4"	31.5	1.25	17	14	12	10	8	7	6	5
1"	25.0	1.00	14	11	10	7	7	6	5	4
3/4"	19.0	0.75	11	9	7	5	5	4	4	3
1/2"	12.5	0.50	7	6	5	3	3	2	2	2
3/8"	9.5	0.375	4	4	3	2	2	1	1	1
4M	4.75	0.187	2	2	1	1	1			
8M	2.36	0.094	1	1						

ESPECIFICACIONES DE TRITURADORAS DE MANDÍBULA MARCA TELSMITH



Especificaciones técnicas

Modelo	A , mm	B, mm	C, mm	D, mm	E , mm	F, mm	G, mm	H, mm
1021	900	720	570	400	1070	550	380	50
1424	1250	1050	850	410	1380	630	500	60
1236	1350	990	850	450	1370	780	590	90
2036	1530	1440	1250	620	2070	930	630	60
2536	1910	1680	1340	560	1840	910	750	80
3042	2210	1960	1580	660	2450	1050	800	100
4248	2950	2660	2150	880	320	1230	1020	90
5060	3100	2760	2350	1010	3980	1490	1120	210

Datos técnicos

Modelo	Peso de la Trituradora, Kg	HP	RPM	Polea Motriz Diámetro x Cara, mm	Regulación Del Lado Cerrado, mm	Gama De la Capacidad, TPH
1021	3000	25	350	825 x 210	10-60	6-25
1424	6400	40	320	950 x 260	25-75	20-50
1236	5800	50	320	950 x 260	20-75	20-60
2036	14200	100	265	1200 x 370	75-150	80-210
2536	21400	120	260	1350 x 370	75-150	110-230
3042	31700	150	255	1500 x 370	100-180	210-340
4248	53000	250	225	1800 x 425	130-300	400-760
5060	112000	300	225	1950 x 575	130-400	560-1520

Los valores indicados de capacidad están basados en material de alimentación promedio, con un peso por volumen de 1.60 T/m3

ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADOS
NORMA ASTM C-33

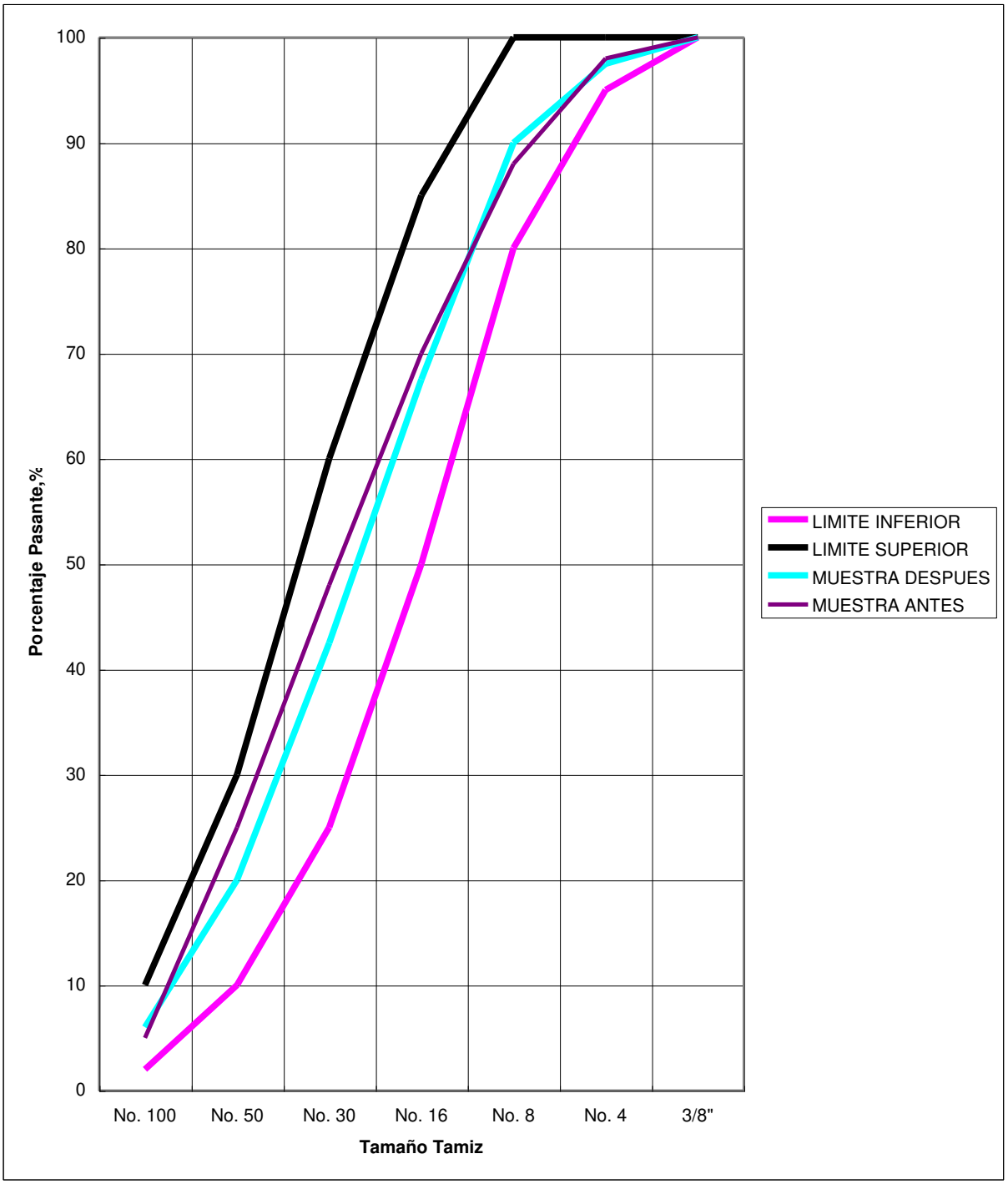
1. Lightweight Aggregates – structural concrete – ASTM Designation C330-53T
2. Concrete Aggregates – ASTM Designation C33-55T
3. Coarse Aggregate – Highway Construction – ASTM Designation D448-54
4. Crushed Slag and Gravel – Bituminous Concrete Base and Surface Courses – ASTM Designation D692-54
5. Crushed Slag and Gravel – Waterbound Macadam Base and Surface Courses – ASTM Designation D694-55

Total % Passing	Screen Size (Square Opening)										
	4"	3½"	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50	No.100
SPR No. 1	100	90–100	-	25–60	-	0–15	-	0–5							
SPR No. 2			100	90–100	35–70	0–15	-	0–5							
SPR No. 24			100	90–100	-	25–60	-	0–10	0–5						
SPR No. 3				100	95–100	35–70	0–15	-	0–5						
SPR No. 357				100	95–100	-	35–70	-	10–30	-	0–5				
SPR No. 4					100	90–100	20–55	0–15	-	0–5					
SPR No. 467					100	95–100	-	35–70	-	10–30	0–5				
SPR No. 5						100	90–100	20–55	0–10	0–5					

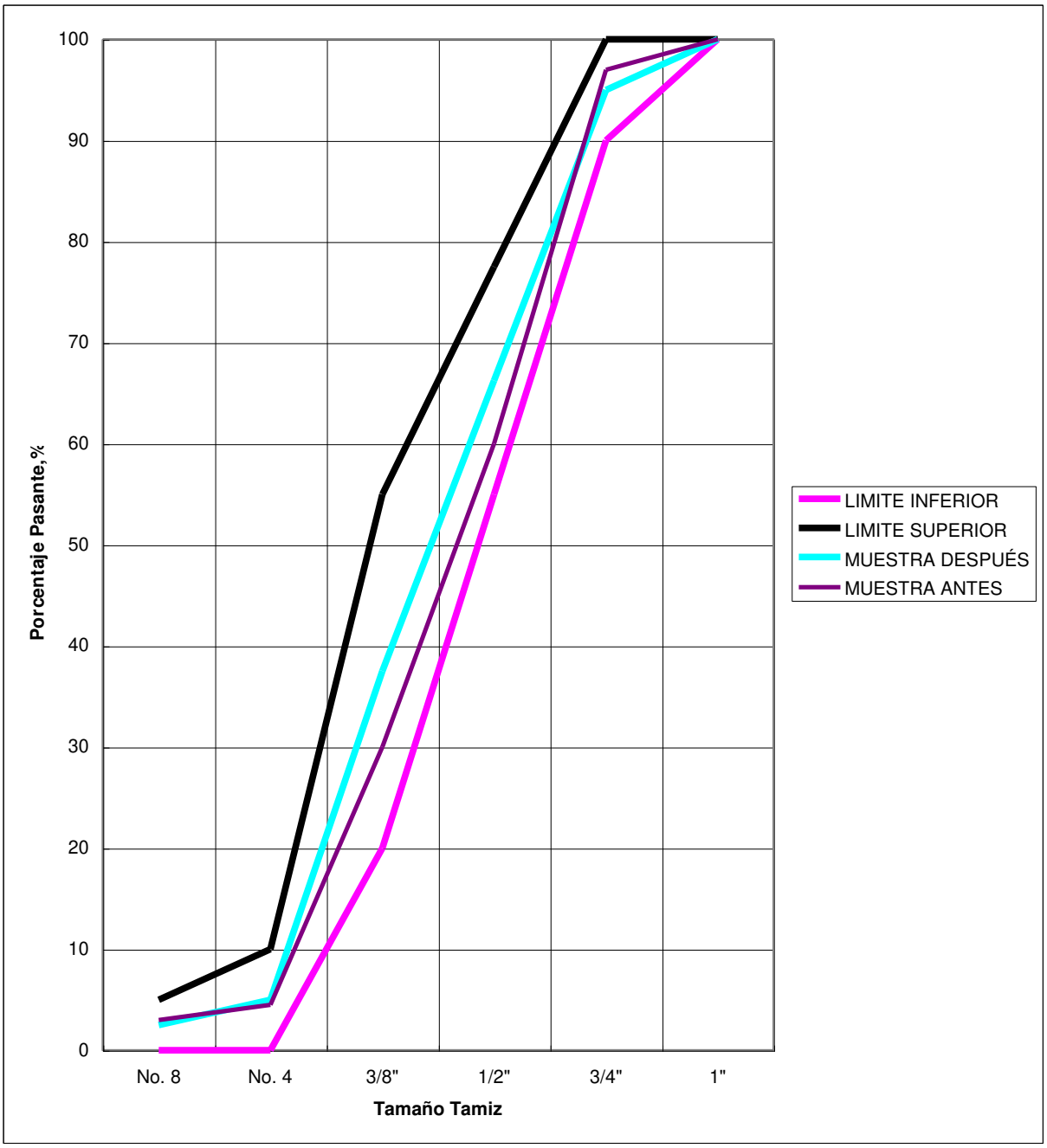
ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADOS
NORMA ASTM C-33 (CONTINUACIÓN)

Total % Passing	Screen Size (Square Opening)											
	4"	3½"	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50	No.100
SPR No. 56					100	90–100		40–75		15–35	0–15	0–5			
SPR No. 57					100	95–100		–		25–60	–	0–10	0–5		
SPR No. 6						100	90–100		20–55		0–15	0–5			
SPR No. 67						100	90–100		–		20–55	0–10	0–5		
SPR No. 68						100	90–100		–		30–65	5–25	0–10	0–5	
SPR No. 7							100	90–100		40–70	0–15	0–5			
SPR No. 78							100	90–100		40–75	5–25	0–10	0–5		
SPR No. 8								100	85–100		10–30	0–10	0–5		
SPR No. 89								100	90–100		20–55	5–30	0–10	0–5	
SPR No. 9									100	85–100		10–40	0–10	0–5	
SPR No. 10									100	85–100		–	–	–	10–30

CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA (-4.75+0 mm)



CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA PIEDRA # 67 (-19,0+4,75 mm)



BIBLIOGRAFÍA.

1 BROWN GEORGE, Operaciones Básicas de la Ingeniería Química, 1.965, Editorial Marin S.A. 26-33.

2 COSTES JEAN, Equipos de Extracción y de Preparación de Minerales-Canteras-Graveras-Minas, Editores técnicos asociados, 1.970, 120.

3 DAY DAVID A., Biblioteca Limusa para la Industria de la Construcción: Maquinaria para Construcción, Tercera Reimpresión, 1.994, 479-508.

4 HIKS TYLER G., Standard Handbook of Engineers Calculations, Cuarta Edición, 1.972, 6.12.

5 http://www.rocosa.com.

6 http://www.todoexpertos.com.

7 METSO MINERALS, Trituradoras de Mandíbulas Nordberg serie C, 2.001, 6-11.

8 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP-001-F-200, I-4.

9 NASSIR SAPAG CHAIN, Evaluación de Proyectos de Inversión en la Empresa, Primera Edición, 2001, 192-198, 227-231.

10 PERRY ROBERT H., Chemical Engineers' Handbook, Quinta edición, 1.973, Editorial Mc Graw Hill, 8-16 a 8-25.

11 RUMFORD FRANK, Chemical Engineering Operations, Tercera Edición, 1.974, 292-295.

12 TAGGART ARTHUR, Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Minerals, 1.945, 4-01 a 4-13.

13 TELSMITH, Mineral Processing Handbook, Décima Edición, 2.004, 26-31,177-179,188,189.

14 WARREN MC CABE, Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Cuarta Edición, 1.985, Editorial Mc Graw Hill, 917-921.