



UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE UNA PLANTA TRITURADORA DE PIEDRA PARA LA
MUNICIPALIDAD DEL CANTÓN DE DESAMPARADOS**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL**

ELABORADO POR:
MARCO TULLIO MONGE MONGE

TUTOR:
DANIELA MOYA SOLANO

SEDE CENTRAL
JULIO, 2024

Contenido

Contenido.....	II
Tablas.....	VI
Figuras	VI
Dedicatoria y agradecimiento.....	XI
Resumen.	XII
Capítulo 1: Problema.....	1
Planteamiento del problema.	1
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Justificación.....	3
Antecedentes.....	5
Proyecciones.....	10
Capítulo 2: Marco Teórico.....	12
Introducción.....	12
Definición de las etapas del proceso de trituración.	14
Extracción y Traslado de la Materia Prima al Área de Triturado.	14
Alimentadores.....	16
Trituración Primaria. (Primera Reducción).	19

Trituración Secundaria, Terciaria y Cuaternaria.....	29
Análisis del Sistema de Trituración.....	33
Cálculo de la Tasa de Reducción.....	33
Sistemas de Cribado.....	37
Definición de Términos.....	38
Clasificación de Cribas.....	39
Uso de las Cribas en los Diferentes Circuitos de Trituración.....	43
Tipos de Cribas Dinámicas.....	46
Cálculo de la Potencia Para Cribas Inclinas y Horizontales.....	52
Selección de las Cribas Dinámicas.....	53
Funciones del Cribado.....	54
Sistemas de Lavado de los Agregados.....	74
Lavado en la criba.....	74
Tornillos Lavadores de Arena.....	75
Ruedas de cangilones o Norias lavadoras de arena.....	76
Lavadores para agregado grueso.....	77
Pilas de Recolección de Lodos.....	78
Diseño de la Planta Trituradora.....	79
Primera Fase.....	79
Segunda Fase.....	80

Tercera Fase.....	80
Diagramas de Flujo de Plantas Trituradoras (Ver apéndice 1)	81
Capítulo 3. Marco Metodológico.....	87
Enfoque de la investigación.....	87
Método de la Investigación.....	87
Fuentes de información.	87
Unidades de Análisis.	88
Instrumentos	90
Proceso para recolección y análisis de datos	90
Capítulo 4. Análisis de Resultados	91
Descripción de la Planta.	91
Definición de la Planta	92
Definición de los Equipos.....	93
Selección de las Máquinas.....	94
Alimentador	94
Criba lateral	95
Diseño del sistema de riego.....	98
Lavador de arena	99
Triturador Primario.....	99
Separador Magnético.....	100

Tolva de Homogenización	100
Trituración Secundaria (Segunda Fase).....	100
Cálculo de la criba de la segunda fase	101
Separador de Basura	105
Tercera fase.....	106
Cálculo de la criba de la tercera fase	107
Bandas Transportadoras.....	109
Diagrama de flujo de planta de trituración.	110
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.....	112
Conclusiones.....	112
Recomendaciones	114
Referencias.	115
Apéndices	117

Tablas

TABLA 1. RÍOS CON MÁS RIESGOS DE INUNDACIONES EN EL CANTÓN DE DESAMPARADOS.	9
TABLA 2. EQUIPOS RECOMENDADOS POR FASES	33
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE TAMAÑO DE ROCAS.	34
TABLA 4. REDUCCIONES POR FASE, CIRCUITO DE DOS FASES.	34
TABLA 5. REDUCCIONES POR FASES, CIRCUITO DE TRES FASES.	35
TABLA 6. TIPOS DE CRIBAS.	46
TABLA 7. CÁLCULO DE FACTORES CRIBA N°1	96
TABLA 8. CÁLCULO DE FACTORES CRIBA N°2	102
TABLA 9. CÁLCULO DE FACTORES DE CRIBA DEL N°3.	108
TABLA 10. EQUIPOS RECOMENDADOS PARA PLANTA DE TRITURACIÓN DE DESAMPARADOS	112

Figuras

FIGURA 1. INUNDACIONES EN LA AMAZONÍA PERUANA.	6
FIGURA 2. INUNDACIÓN EN GRAVILIAS DE DESAMPARADOS.	7
FIGURA 3. DESBORDAMIENTO DEL RIO LAS TORRES, EN BAJO LOS LEDEZMA	8
FIGURA 4. ONTARIO HIGHWAY 401, AUTOPISTA DE ASFALTO DE 22 CARRILES.	12
FIGURA 5. EXCAVADORA HIDRÁULICA CARGANDO CAMIÓN CONVENCIONAL.	15
FIGURA 6. CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS CARGANDO CAMIÓN MINERO.	15
FIGURA 7. ALIMENTADOR DE CADENAS O PLACAS.	16
FIGURA 8. TRITURADOR PRIMARIO CON ALIMENTADOR VIBRATORIO.	17

FIGURA 9. ALIMENTADOR BIELA-MANIVELA	18
FIGURA 10. PRIMARIO DE MANDÍBULAS DE DOBLE EFECTO.....	21
FIGURA 11. TRITURADOR PRIMARIO DE MANDÍBULAS DE UN EFECTO.....	23
FIGURA 12. MEDIDAS MÁS COMUNES DE LOS PRIMARIOS DE MANDÍBULAS.....	24
FIGURA 13. TRITURADOR PRIMARIO DE CONO GIRATORIO.	25
FIGURA 14. IMPACTADOR DE EJE VERTICAL.	27
FIGURA 15. IMPACTADOR DE EJE HORIZONTAL.	28
FIGURA 16. TRITURADOR DE CONO.....	30
FIGURA 17. TRITURADORA DE IMPACTO DE EJE VERTICAL.....	31
FIGURA 18. TRITURADOR DE IMPACTO DE EJE.	32
FIGURA 19. SISTEMA DE TRITURACIÓN.	33
FIGURA 20. HORAS RECORRIDAS POR DUREZA DE MATERIAL.	35
FIGURA 21. USO DE EQUIPOS SEGÚN EL TAMAÑO DE LA ROCA DE ALIMENTACIÓN.....	36
FIGURA 22. CRIBA ESTÁTICA.	39
FIGURA 23. EJE CON POLEA DESBALANCEADA	41
FIGURA 24. MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA EN UNA CRIBA INCLINADA.	42
FIGURA 25. MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS EN UNA CRIBA HORIZONTAL.	42
FIGURA 26. CRIBA SCALPER.	43
FIGURA 27. FASE PRIMARIA DE UN CIRCUITO DE TRITURACIÓN.	44
FIGURA 28. FASE SECUNDARIA DE UN CIRCUITO DE TRITURACIÓN.....	45
FIGURA 29. FASE CUATERNARIA EN UN CIRCUITO DE TRITURACIÓN.	45
FIGURA 30. VARIANTE DE UN CIRCUITO DE TRITURACIÓN USANDO CRIBA DE 4 PAÑOS.	46
FIGURA 31. CRIBA DINÁMICA INCLINADA.....	47

FIGURA 32. CRIBA INCLINADA TIPO BANANA.....	48
FIGURA 33. CRIBA HORIZONTAL.....	49
FIGURA 34. CRIBA DE BARRA.....	50
FIGURA 35. CRIBA GRIZZLY.....	51
FIGURA 36. CRIBA DE TAMBOR.....	52
FIGURA 37. GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE CRIBA.....	54
FIGURA 38. TABLA DE FACTOR DE RECHAZO.....	59
FIGURA 39. TABLA DE FACTOR DE SEMITAMAÑO.....	60
FIGURA 40. TABLA FACTOR DE RENDIMIENTO.....	61
FIGURA 41. TABLA DE FACTOR DE CRIBADO EN SECO.....	63
FIGURA 42. FACTOR DE CRIBADO HÚMEDO.....	64
FIGURA 43. CAUSAL DE DIFUSORES TIPO PICO DE PATO.....	65
FIGURA 44. TIPOS DE MALLAS SEGÚN ABERTURAS.....	66
FIGURA 45. TABLA DE FACTOR DE ABERTURA.....	67
FIGURA 46. GRAVA TRITURADA.....	67
FIGURA 47. FACTOR DE LAJAS.....	68
FIGURA 48. CRIBA INCLINADA DE 20°.....	69
FIGURA 49. FACTOR DE ÁREA LIBRE DE PASO FO	71
FIGURA 50. ÁREA LIBRE EN MALLAS.....	72
FIGURA 51. ANCHURA MÍNIMA DE CRIBA.....	73
FIGURA 52. SISTEMA DE LAVADO DE ÁRIDOS EN CRIBA.....	75
FIGURA 53. TORNILLO LAVADOR DE ARENA.....	76
FIGURA 54. LAVADOR DE ARENA DE CANGILONES.....	77

FIGURA 55. SISTEMA DE LAVADO DE AGREGADO GRUESO.	78
FIGURA 56. PLANO DE PILA DE RECOLECCIÓN DE LODOS.	79
FIGURA 57. DIAGRAMA DE PLANTA DE 150 T/HR.	82
FIGURA 58. DIAGRAMA DE PLANTA DE TRITURACIÓN DE 3 ETAPAS	83
FIGURA 59. DIAGRAMA DE PLANTA DE PROCESOS DE AGREGADOS 330 TPH.....	84
FIGURA 60. DIAGRAMA DE PLANTA DE TRITURACIÓN PARA AGREGADOS DE ASFALTO.	85
FIGURA 61. DIAGRAMA DE PLANTA DE AGREGADOS DE PIEDRA CALIZA.	86
FIGURA 62. ALIMENTADOR GRIZZLY MODELO HREF4620-1V	95
FIGURA 63. CRIBA HF-1236.....	97
FIGURA 64. TABLA DE SELECCIÓN DE DIFUSORES DE AGUA DE POLIURETANO.	98
FIGURA 65. TOLVA DE HOMOGENIZACIÓN	100
FIGURA 66. CRIBA METSO TS3.3	104
FIGURA 67. SEPARADOR DE BASURA AQUAMATORAS 4000/1600/280.	105
FIGURA 68. BANDA TRANSPORTADORA METSO.	110
FIGURA 69. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE TRITURACIÓN AGREGADOS EN CANTÓN DE DESAMPARADOS.....	111
FIGURA B1. CRIBA CON MALLAS DE ALAMBRE. TOMADO DE (EMILIO ANDREA BLANCO)	122
FIGURA B2. CRIBA CON MALLAS SINTÉTICAS.....	122
FIGURA B3. CRIBA CON PLACAS PERFORADAS	123
FIGURA B4. CÁLCULO DEL PAREA DE CRIBADO PARA UNA MALLA CUADRADA DE ALAMBRE	123
FIGURA B5. SUPERFICIE DE MALLA.....	124
FIGURA B6. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA FIGURAS REDONDAS.....	128

FIGURA B7. EFECTOS DE LA INCLINACIÓN SOBRE LA ABERTURA EFECTIVA, TOMADO DE (EMILIO ANDREA BLANCO).....	128
FIGURA B8. TABLA PARA SELECCIÓN DE MALLAS SEGÚN EL PRODUCTO DESEADO.....	130
FIGURA C1. BOQUILLAS PARA UN SISTEMA DE LAVADO EN UNA CRIBA.....	133
FIGURA C2. SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA LAVADO EN LA CRIBA.....	133
FIGURA C3. DIAGRAMA PARA CÁLCULO DE (A). TOMADO DE (METSO MINERALS, 2008)	136

Dedicatoria y agradecimiento.

Primero, doy gracia a Dios por la oportunidad de estar hoy entregando este trabajo y ver cumplida la meta trazada años atrás. En especial quiero dedicar este segundo título a mi padre, QEPD, y a mi madre Esther Monge Picado, quienes me enseñaron a ser paciente e insistente en los proyectos de vida. A los profesores ING. Rodolfo Cárdenas y Arq. Sharon Díaz por la comprensión y compromiso con la Institución y el estudiantado. También le agradezco a los ingenieros Darrel Sequeira, Oldemar Meneses y Saúl Zamora por la invaluable ayuda en la ejecución de este trabajo.

Resumen.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar una planta trituradora de piedra para el Cantón de Desamparados. La materia prima del triturador proviene del dragado que sea hará a los ríos de la zona para disminuir los desbordamientos e inundaciones en la época de lluvias. Para ello, el autor se basó en la experiencia adquirida en su vida laboral en dicha rama de la ingeniería y además respaldado por el fabricante de equipos Metso Minerals. Para dar inicio al diseño de la planta de trituración de piedra es preciso conocer la granulometría y las características físicas del material que se va a procesar y la granulometría del producto final. Con estos datos y el uso de información técnica se inicia la selección de los equipos y su ubicación en la planta trituradora. Posteriormente se debe hacer un Plan de Manejo de las áreas donde se va a instalar la planta de trituración y de los puntos de extracción, este plan debe de considerar la afectación Social, Económica y Ambiental del proyecto. En este trabajo se hace una descripción detallada de todas las máquinas que conforman una planta de trituración y las características que las identifican. Cabe aclarar que aunque el equipo en mención es de la marca Metso, las funciones aplican para todas las otras marcas. Para una mejor comprensión de lo que es una planta de Trituración se ha dividido en fases, esto le dará al lector una visión más clara del proceso que le permita reconocer fácilmente los equipos que conforman cada una de las etapas que van desde la explotación de la fuente de material hasta obtener los productos finales en la última fase del circuito. Por último y para verificar que la selección de equipos propuesta está correcta se hace uso del Simulador que tiene la Compañía Metso. Este simulador usa las características físicas del material y granulométricas para alimentar sus algoritmos y con ello predecir de forma precisa el comportamiento de la planta de trituración

Capítulo 1: Problema.

Planteamiento del problema.

El diseño de una planta trituradora de piedra en el Cantón de Desamparados es una iniciativa orientada a abordar cuatro ejes principales:

1. Diseñar una planta trituradora.
2. Minimizar las inundaciones en la época de lluvia.
3. Crear una fuente de empleo.
4. Obtener insumos a bajo costo para la reparación de la red vial del cantón de Desamparados.

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (CNE) en su informe de “Amenazas Hidrometeorológicas Para el Cantón de Desamparados”¹, indica lo siguiente.

“El Cantón de Desamparados posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red está compuesta principalmente por los ríos: Cañas, Tiribi, Damas, Cucubres, Chilamate, Jorco” (CNE, S.F., P. 1)

El aumento de las lluvias en los últimos años, según el Instituto Meteorológico, ha provocado que la mayoría de los ríos se desborden, lo cual ocasiona caos y destrucción en las zonas aledañas. Este problema se agrava debido a la ausencia de planes reguladores, áreas extensas deforestadas y la acumulación de basura y restos de maleza, lo que contribuye a que los

1

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amaneza/san_jose/Desamparados%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf

ríos abandonen su cauce natural, causando severos daños a los vecinos. Gran parte del material arrastrado por estos ríos es roca que se desplaza de las partes altas hacia las partes más bajas. Se concluye que la mayoría del material que se acumula en el lecho de los ríos es piedra. Por esta razón, se propone dragar los ríos para disminuir la probabilidad de desbordamientos y a su vez, transportar este material a una planta trituradora, la cual lo procesará para obtener los agregados básicos para producir los materiales necesarios para la reparación de la red vial del cantón. Con la implementación de este proyecto, se beneficiarán todos los usuarios de las carreteras del cantón, además crear una fuente de empleo que contribuirá a combatir el desempleo informal que abunda en toda la zona de estudio. Paralelamente, la creación de este proyecto permitirá abordar tres problemas que afectan al cantón de Desamparados:

1. Riesgos de inundaciones en la zona del Cantón.
2. Altos costos de reparación de la red vial.
3. Alta tasa de desempleo local.

Una vez puesto en marcha este proyecto piloto, las demás municipalidades podrán implementar sus propios proyectos, obteniendo así los mismos beneficios económicos y sociales. Es importante preguntar: ¿Cuál es el impacto de la implementación de una planta trituradora de piedra en el suministro de materiales para la construcción y mantenimiento de la red vial del cantón teniendo en considerando la descripción, evaluación y recomendación de equipos utilizados en la producción de agregados pétreos, así como la localización de la fuente de material adecuada en función de las características fisicoquímicas requeridas y la necesidad de encauzar los ríos?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una planta trituradora de piedra para la Municipalidad del Cantón de Desamparados utilizando como materia prima el material de los ríos de la zona para producir agregados útiles para la elaboración de mezcla asfáltica y al mismo tiempo reducir las inundaciones en la zona.

Objetivos Específicos

- Justificar la instalación de una planta de trituradora de piedra en el cantón de Desamparados.
- Describir detalladamente los equipos utilizados en la producción de agregados pétreos, identificando sus características y funciones.
- Evaluar y recomendar los equipos adecuados en función de la materia prima proporcionada por los ríos de la zona.

Justificación.

Ante las constantes inundaciones generadas durante las últimas épocas húmedas en todo el país y enfocadas en la meseta central, específicamente en la zona de Desamparados, las cuales han propiciado un clima de incertidumbre en los habitantes de las áreas aledañas a los cauces de los ríos, resulta de especial interés buscar la forma de poder mitigar el constante peligro al que está expuesta dicha población.

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (CNE), en el “Plan Nacional de Gestión del Riesgo, II Quinquenio 2021-2025”², indica:

“...desde el punto de vista de su criticidad, los puentes constituyen las obras más frágiles, por los altos costos de reposición y el impacto en las dinámicas sociales de las poblaciones a las que sirven. A ello se unen las obras de protección en márgenes y cauces de ríos y quebradas, obras caras que no realizarlas tienen un efecto acumulativo de daños en la infraestructura y la producción. Igualmente, la infraestructura de agua potable, particularmente la que no es administrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.” (CNE, marzo 2021, P.59)

La causa principal de los desbordamientos de los ríos es la acumulación de material en el lecho de los mismos, para mitigar estos desastres se proponer dragar los ríos con más probabilidad de desbordamiento y a su vez utilizar este material como materia prima para una planta trituradora de piedra que produzca los materiales necesarios para producir mezclas asfálticas y hormigón para la construcción de carreteras y reparación de las existentes. Esto le permitirá al gobierno local reducir los costos que generan la reparación y la construcción de nuevas vías.

Mitigación del riesgo de inundaciones: la propuesta de diseñar una planta trituradora de piedra es para aprovechar el material extraído del dragado de los ríos, esto con el fin de aumentar

2

<https://www.cne.go.cr/rectoria/planngr/Plan%20Nacional%20de%20Gestion%20del%20Riesgos%202021-2025.pdf>

su cauce disminuyendo el riesgo de inundaciones en el Cantón de Desamparados. Al darles más profundidad y dirección a los cauces de los ríos, se reduce la probabilidad de desbordamiento, lo que contribuirá a proteger a los habitantes expuestos a los daños generados por estos eventos peligrosos.

Reducción del costo de la reparación de la red vial del cantón: La obtención de insumos a bajo costo para la reparación de la red vial del cantón es fundamental. La propuesta de una planta trituradora permitirá la producción local de agregados básicos a partir de la roca extraída de los ríos en estudio. Esto supondrá un ahorro significativo en los costos de producción que permitirá realizar reparaciones de manera más efectiva y económica.

Creación de una fuente de empleo local: La puesta en marcha de este proyecto no solo beneficiará a los usuarios de las carreteras del cantón y reducirá el riesgo de inundaciones, sino que también contribuirá a la generación de empleo. La instalación de una planta trituradora de piedra y el aumento de las reparaciones y nuevas construcciones horizontales generará una fuente de empleo que ayudará a combatir el desempleo informal que afecta a todo el cantón.

Antecedentes.

Según *Desenvolupament Sostenible (2022)*: Uno de los problemas más serios en el mundo son las inundaciones provocadas por las crecidas estacionales, esto es el aumento del caudal de los ríos en la época húmeda debido al exceso de lluvia. Por ejemplo, el Nilo pasa de $570 m^3$ en agosto a $8440 m^3$ en septiembre. El río Amazonas todos los años inunda grandes extensiones de bosque debido al aumento súbito del caudal. En la India, los ríos Ganges y Brahmaputra causan inundaciones desastrosas debido a la alta densidad de población en sus zonas aledañas.

Figura 1.

Inundaciones en la Amazonía Peruana.



Nota: tomado de Diario El Mundo Online, *La Amazonía Peruana Sufre Inundaciones Históricas*, <https://www.elmundo.es/elmundo/2012/04/21/natura/1335034778.html>

Se menciona el aumento del caudal de los ríos durante la temporada de lluvias como la causa principal de las inundaciones lo que puede tener consecuencias devastadoras para las comunidades locales, especialmente en áreas densamente pobladas. En Costa Rica, las inundaciones se deben principalmente a las lluvias intensas que se dan en tiempos muy cortos, estas lluvias superan la capacidad de absorción del suelo. Aunado a esto, se debe agregar el aumento de la frontera agrícola y en muchos casos también la ausencia de planes reguladores, lo cual provoca que el área de suelo disminuya y, en consecuencia, las esorrentías van directamente al cauce de los ríos y superan su capacidad de transporte de agua provocando inundaciones en las zonas aledañas. La ausencia de regulaciones adecuadas puede llevar a una expansión urbana descontrolada y a la deforestación, lo que aumenta el escurrimiento superficial y la probabilidad de inundaciones.

Figura 2.

Inundación en Gravilias de Desamparados.



Nota: tomado de Diario La Teja Online, Aguaceros causaron 78 inundaciones, "principalmente en San José y Desamparados"

<https://www.lateja.cr/sucesos/aguaceros-causaron-78-inundaciones-principalmente/JJ3ZL5AP55B5NGF53GEVPIAYSU/story/>

En el periódico La Nación del día 28 de setiembre de 2019, se reportaron inundaciones en toda la Gran Área Metropolitana, las cuales causaron inundaciones en viviendas y cierre de carreteras.

Figura 3.

Desbordamiento del río Las Torres, en Bajo Los Ledezma



Nota: tomado de Diario La Nación (Costa Rica) Edición del 28 de Septiembre 2019, “Fuertes lluvias provocan inundaciones y deslizamientos en diferentes partes de la Gran Área Metropolitana”

<https://www.nacion.com/sucesos/desastres/fuertes-lluvias-provocan-inundaciones-y/BPQ3SP747BGNJFY6NMV2WQ4KBY/story/>

El Instituto Nacional de Meteorología reportó en ese entonces registros acumulados de lluvia más altos de 60 y 75 lts/m^2 en dos horas. El impacto de las inundaciones incluye daños en viviendas y cierre de carreteras, lo que sugiere el alcance y la gravedad del evento. Específicamente en el Cantón de Desamparados, en los últimos años se han dado fuertes inundaciones, las cuales han causado estado de emergencias en las zonas aledañas. Estas

inundaciones se deben a las causas mencionadas anteriormente, además se debe agregar otro factor; el material arrastrado de las partes altas, en su mayoría rocas, se han venido depositando en el lecho del río, las cuales han subido el nivel de este. Tal situación ha provocado que los ríos sean más propensos a dejar su rumbo natural.

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), el cantón de los Desamparados presenta hasta 12 ríos con alto riesgo de inundaciones los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Ríos con más riesgos de inundaciones en el cantón de Desamparados.

Ríos propensos a desborde	Poblados con riesgo de inundación
María Aguilar	Hatillos 1,2 y 3, San Cayetano
Ocloro	Barro Luján-Zapote, Barrio Pinto
Q. Cañada	San Sebastián, López Mateo
Q. Pepinos y Salubridad	Colonia Kennedy, Barrio Cuba, Cristo Rey
Tiribí	Desamparados, San Jerónimo, Cascajal, Alajuelita
Damas	San Antonio, Patarrá, el llano
Guatuso	Los Guido
Cañas	San Juan de Dios, San Rafael de Desamparados
Saurez	Aserri
Cucubres	Calle Fallas, Durazno, Monseñor Sanabria
Chilamate	Gravilias Villanueva
Jorco	San Rafael, Torremolinos

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (CNE) ante esta problemática recomienda que:

“Las municipalidades busquen los mecanismos adecuados de coordinación con otras instituciones del Estado, Organismos no Gubernamentales (ONG), vecinos y empresa privada para poner en práctica obras de protección de las márgenes de los ríos o de los cauces para reducir la posibilidad de inundaciones. (CNE, 2016).”

Con base en esta recomendación es que se propone construir una planta trituradora de piedra para poder canalizar los ríos evitando desbordamientos y a su vez aprovechar el material sustraído como materia prima para la producción de agregados que se usarían en la construcción y reparación de la red vial del cantón.

Proyecciones

El proyecto en estudio se lleva a cabo en el Cantón de Desamparados durante el año 2023. Este cantón, uno de los más grandes y poblados del país, cuenta con varios ríos que descienden de las partes altas de las montañas, transportando materiales diversos, entre ellos rocas. El proyecto propuesto tiene las siguientes metas:

1. La instalación de una planta trituradora de piedra en el cantón de Desamparados. Con la puesta en marcha de esta planta trituradora se espera tener materia prima para la fabricación de mezcla asfáltica y concreto hidráulico.
2. Disminución en los desbordamientos de los ríos del cantón de Desamparados. El dragado de los ríos para obtener materia prima para la planta trituradora nos

dejará como resultado positivo la canalización de los cauces evitando de esta forma los frecuentes desbordamientos causados en épocas de lluvias.

3. Fuentes de empleo.

Las actividades de extracción, acarreo, chancado y colocación de mezcla asfáltica y concreto hidráulico serán una fuente importante de empleo en la zona.

4. Reducción de los gases de efecto invernadero.

Debemos de pensar en aportar algo a nuestro medio, con este proyecto estaríamos dejando de enviar a la atmósfera gran cantidad de toneladas de CO₂ provocadas por el transporte de agregados de Guápiles a San José.

Capítulo 2: Marco Teórico.

Introducción.

En el ámbito de la construcción de infraestructuras viales, la producción de agregados pétreos desempeña un papel fundamental en la elaboración de mezclas asfálticas y concretos hidráulicos. Estos materiales, esenciales para el desarrollo y mantenimiento de carreteras y caminos requieren de un proceso de extracción, trituración y clasificación que involucra una variedad de máquinas y equipos especializados.

Figura 4.

Ontario Highway 401, autopista de asfalto de 22 carriles.



Nota: Las carreteras más extraordinarias del mundo – Sputnik Mundo

<https://latamnews.lat/20240123/1147625452.html>

El presente trabajo tiene como objetivo ofrecer al lector una comprensión detallada de los tipos de máquinas que intervienen en el proceso de producción de agregados, así como la función específica en dicho proceso. Además, se aborda la iniciativa de diseñar una planta trituradora de piedra como una solución integral a varios problemas que tienen muchas comunidades, especialmente el Cantón de Desamparados. Entre los principales problemas que se abordarán tenemos:

1. En primer objetivo es diseñar una instalación que permita la producción eficiente de agregados pétreos esenciales para la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales y construcciones verticales.
2. En un segundo punto se pretende minimizar las inundaciones durante la época de lluvia, una problemática recurrente en la meseta central de nuestro país específicamente en la zona de Desamparados.
3. El tercer factor a intervenir es crear fuentes de empleo para la población local contribuyendo así al desarrollo económico y social de la región. Y finalmente se persigue la obtención de insumos a bajo costo para la reparación y mantenimiento de la red vial del cantón de Desamparados, promoviendo de esta forma la eficiencia en la gestión de recursos y la sostenibilidad de la infraestructura vial.

Desamparados es precisamente el segundo cantón del país con más desastres registrados en los últimos 50 años. (Cordero, 2022)

Ante las constantes inundaciones generadas durante las últimas épocas húmedas en nuestro país es imperativo buscar soluciones que mitiguen el riesgo al que están expuestas las comunidades cercanas a los cauces de los ríos.

En este sentido, la implementación de una planta trituradora de piedra se presenta como una medida proactiva para asegurar el suministro constante de materiales pétreos necesarios para la construcción y mantenimiento de la red vial, al tiempo que se contribuye al desarrollo económico y social de la región.

En las secciones siguientes se describen detalladamente los equipos utilizados en la producción de agregados pétreos (Rodríguez, 2020) identificando sus características y funcionalidades con el fin de proporcionar una visión completa de este proceso fundamental para la infraestructura vial.

Definición de las etapas del proceso de trituración.

Extracción y Traslado de la Materia Prima al Área de Triturado.

Para realizar esta labor se necesita equipo de carga, los que pueden ser excavadoras de orugas o cargadores frontales cuya capacidad depende directamente del tamaño del equipo de trituración que se tenga y del tamaño del material que se va a extraer. Si la planta es de alta producción se necesitará equipo de alta capacidad de carga para poder mantenerlo a un régimen constante de producción. Una vez definido el equipo de carga se procede a dimensionar los equipos de acarreo, las características de este tipo de camiones dependen de los equipos de carga que se tengan, el tamaño del material a transportar, el camino de acceso hacia la planta y la capacidad de producción de la planta trituradora. Así podemos verlo en la figuras 5 y 6.

Figura 5.

Excavadora hidráulica cargando camión convencional.



Figura 6.

Cargador frontal sobre ruedas cargando camión minero.



Alimentadores.

Este es el primer componente de la planta trituradora que tiene contacto con el material virgen. Los alimentadores se utilizan para dosificar el flujo de material a fin de cumplir con el caudal especificado (McInahan, S.F.) en forma constante el material extraído del río o cantera al triturador primario.

Existen varios tipos de alimentadores y estos van en función del tipo y tamaño de material a transportar.

Alimentador de Placas o Cadena.

Los alimentadores de placas han sido diseñados para todos los tipos de aplicaciones. Pueden ser usados con materiales secos, húmedos o pegajosos y operan en ambientes contaminados o corrosivos. Estos alimentadores están disponibles en una amplia gama de tamaños y satisfacen las necesidades de tratamiento de materiales en aplicaciones de alimentación y cantidad controlada en minería y canteras. Así se muestra en la figura 7.

Figura 7.

Alimentador de cadenas o placas.



Nota: Adaptado de *Alimentador de cadenas* de Montes de Oca Risco, 2018.

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

Ventajas: Pueden manejar volúmenes hasta 10000 *Ton/hr* ($6000 \text{ m}^3/\text{h}$), además, son hechos para servicio pesado con alta resistencia al impacto y buen control de flujo, son adecuados para manejar materiales arcillosos con alto contenido de humedad.

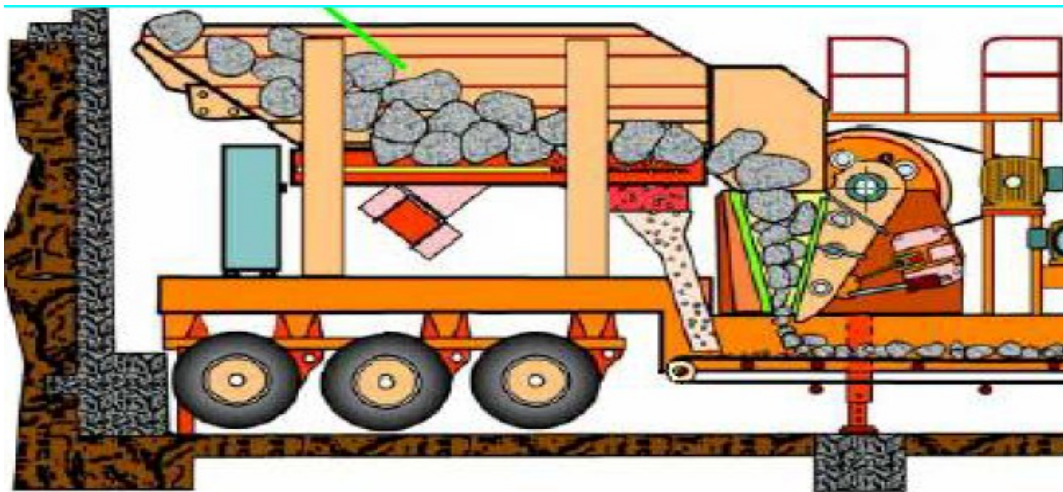
Desventajas: Alto costo de adquisición permite la caída de materiales finos y no tiene clasificador de finos (grizzly).

Alimentadores Vibratorios

Son ampliamente utilizados en minas, canteras, pozos de grava y triturando y seleccionando roca, grava, desechos o materiales reciclados. (Metso, Metso Minerals, 2024) Estos alimentadores han sido concebidos para materiales de gran tamaño y son principalmente usados para alimentar trituradoras primarias de mandíbulas como se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Triturador primario con alimentador vibratorio.



Nota: Adaptado de *Trituradoras*, de Metso Minerals, 2003.

<https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

Están equipados con secciones de barras para pre clasificación y remueven los finos para desviarlos de la trituradora primaria. Son robustos y versátiles, tienen un precio de compra bajo en comparación con alimentadores de placas. Los alimentadores vibratorios están disponibles en varios tamaños, con capacidades 25 Ton/h hasta 1700 Ton/hr, es decir, 15m³/h hasta 1000 m³/h.

Ventajas: Son hechos para servicio pesado con alta resistencia al impacto y buen control de flujo, alta seguridad de operación, fácil mantenimiento y rejilla para separación de finos.

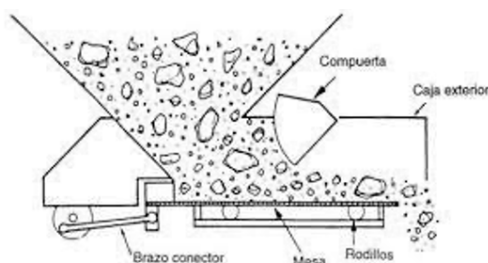
Desventajas: Alta potencia instalada y menor capacidad de trabajo con materiales arcillosos. Asimismo, bajo ciertas condiciones de humedad y características del material se pueden volver inoperable.

Alimentador de Biela-Manivela

Existen otros tipos de alimentadores en el mercado, entre ellos están los mecanismos de biela–manivela, los alimentadores reciprocantes o de biela–manivela son usados para manejar bajos volúmenes y rocas de menos de 200 mm (8 Pul) de diámetro. El flujo de material es controlado por una compuerta de dosificación o bien mediante la colocación de un variador de velocidad en el motor eléctrico, figura 9:

Figura 9.

Alimentador Biela-Manivela



Nota: Adaptado de *Trituradoras*, de Metso Minerals, 2003.

<https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

Ventajas: Tienen un costo de adquisición y mantenimiento bajo.

Desventajas: No pueden manejar piedras con diámetros superiores a los 200 mm (8 Pul) y no resisten grandes impactos.

Trituración Primaria. (Primera Reducción).

Esta es la primera etapa en un ciclo de trituración sea este cerrado o abierto, es aquí cuando ocurre la primera reducción del material virgen y consiste en reducir y homogenizar el material a un tamaño que pueda ser transportado a las otras fases del circuito por medio de bandas transportadoras. En la gran mayoría de los trituradores de áridos que existen, la trituración primaria se hace con una trituradora de mandíbulas, las plantas con capacidades muy elevadas usan normalmente una trituradora giratoria primaria. Cuando el material es fácil de triturar y no muy abrasivo (material calizo) se puede usar una trituradora de impacto.

La capacidad de la planta, el tamaño del material de alimentación y la dureza del material son los factores principales en la selección de una trituradora primaria. Para asegurar el buen desempeño de la planta primaria y evitar pérdidas de producción, es necesario tener una correlación adecuada entre el tamaño del material a triturar y la dimensión de la abertura de alimentación del primario, lo que significa que el tamaño máximo del material de alimentación debe mantenerse entre el 60 % y 80% de la abertura de entrada de la trituradora. Los factores que pueden tener influencia en la selección del primario son:

- Características físicas del Material (Dureza).
- Granulometría del material (Tamaño de la piedra).
- Tipo y tamaño del alimentador.
- Producción esperada.

En los casos en que los requisitos de calidad sean muy altos, la opción más recomendable es una trituradora giratoria primaria, esto debido a la cubicidad que da este tipo de trituradora.

Los equipos característicos para la realización de este trabajo son de tres tipos:

(E, S.F.)

Primarios de Mandíbulas

Se usan principalmente como trituradoras primarias, consta de una mandíbula fija y una móvil que está articulada en su parte superior y que, por oscilación sobre este eje, se puede acercar y alejar de la mandíbula fija, comprimiendo la roca entre ambas en este movimiento.

(Blanco, 2014). Su propósito principal es producir material para que pueda ser transportado en cintas transportadoras hacia las etapas posteriores de trituración. Las trituradoras de mandíbulas se usan principalmente en plantas con una producción de hasta cerca de 1700 *Ton/h* (1000 *m³/h*). La principal desventaja de la trituradora de mandíbulas es que el producto final es laminar (caras largas y planas) que no satisface ninguna norma. Para minimizar el desgaste de los mantos se recomienda trabajar el equipo al 100 % de su capacidad.

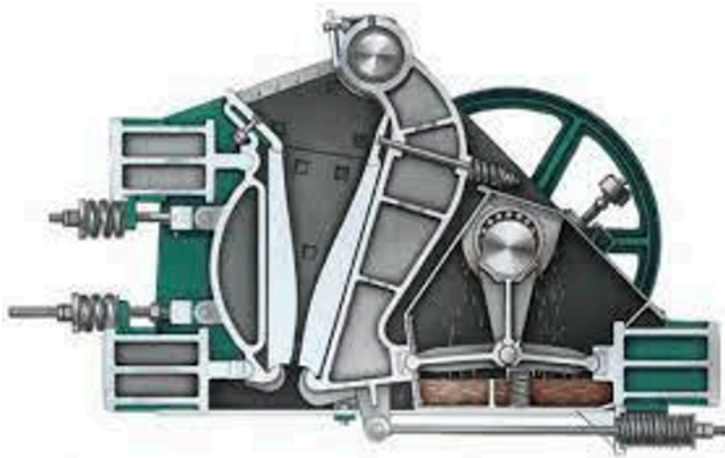
Dentro de la gama de primarios de mandíbula, se encuentran los siguientes:

- De doble efecto. (Ver figura 10.)
- De efecto sencillo. (Ver figura 11.)

Primarios de mandíbulas de doble efecto

Figura 10.

Primario de mandíbulas de doble efecto.



Nota: Adaptado de *tipos de mandíbula* de Montes de Oca Risco, 2018.

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/7._trituracion.pdf

Consta de una mandíbula fija y una móvil que está articulada en su parte superior a un volante en forma excéntrica. Al girar el volante de inercia, este mueve una articulación que provoca un movimiento que acerca y aleja la mandíbula móvil a la mandíbula fija, de modo que se comprime la roca en la parte superior entre ambas placas por compresión hasta fragmentarla.

Un segundo pivote colocado esta vez en el eje del volante de inercia y conectado a una biela y esta, a su vez, conectada a dos articulaciones, provoca otro movimiento de vaivén en la parte inferior entre la mandíbula móvil y la fija, hecho que ocasiona la fractura de la roca también por compresión en la parte inferior de las placas.

Para garantizar el retroceso de la mandíbula móvil y mantener unido todo el conjunto de piezas móviles, existe un vástago con un resorte de presión que es comprimido al cerrarse la mandíbula y obliga la apertura en el ciclo de abierto.

Este tipo de dispositivo es un eficiente multiplicador de fuerzas que permite fragmentar las rocas y los minerales entre las mandíbulas del equipo cuando estas se acercan y liberar la presión cuando se separan.

Sistemas anti triturables.

Estos sistemas se usan en todos los trituradores de mandíbula y su función es la de servir de “fusible”³ para proteger todo el equipo cuando ingrese sin querer algún elemento no triturable, consta de una placa diseñada de menor resistencia (mediante perforado, disminución del espesor, acoplamiento mediante tornillos calibrados, etc.), de tal forma que se rompa ante la presencia de un material no triturable de resistencia superior a la prevista, de manera que cese la transmisión de esfuerzos en el momento de la rotura y libere la abertura de las mandíbulas en la parte inferior mediante la acción del resorte para que caiga el elemento metálico. Este sistema protege al equipo de daños causados por la entrada de algún material de dureza superior a la permitida como un pedazo de hierro dejado en un lugar inapropiado

Trituradores de mandíbula de efecto sencillo

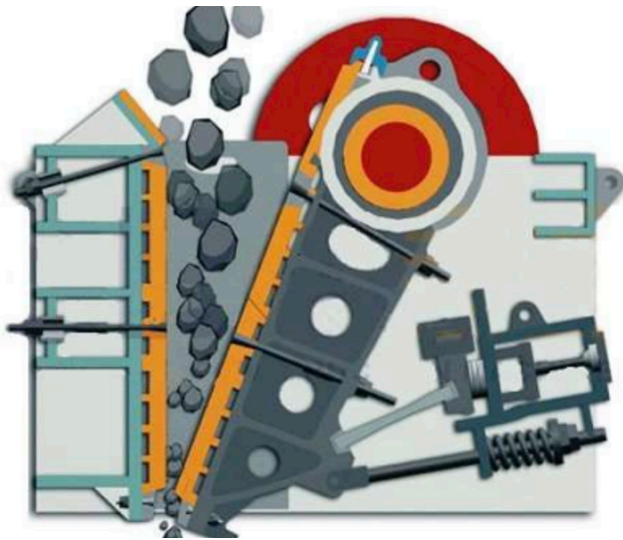
Esta trituradora es una simplificación del diseño de la máquina doble efecto, un solo eje hace de articulación para el giro de la mandíbula móvil y de excéntrica para transformar el

3 Sistema de protección

movimiento lineal en movimiento cuasi lineal. En este caso el movimiento describe una elipse en la zona de la boca y en la de salida.

Figura 11.

Triturador Primario de mandíbulas de un efecto.



Nota: Adaptado de *Términos sobre la trituradora de mandíbulas*, de Metso Minerals, 2003. <https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

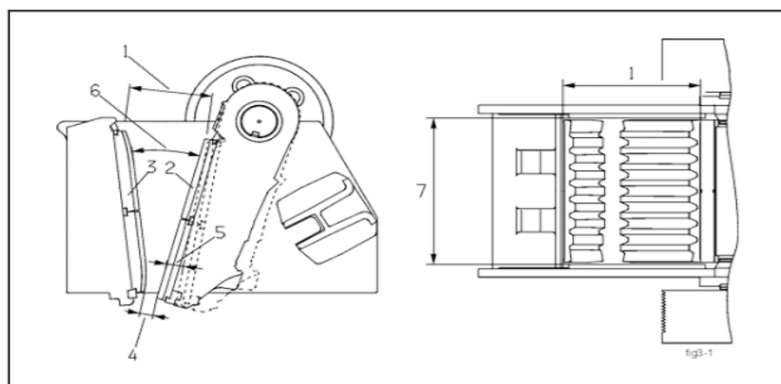
En este diseño la mandíbula móvil hace las funciones de biela y se suprime una de las placas de articulación usada en el sistema anterior. El resto de los mecanismos descritos anteriormente son válidos y similares en su función, pero se simplifica notablemente el diseño y la construcción del equipo, lo cual reduce el peso de acero y se disminuye el costo notablemente.

El movimiento de la mandíbula móvil tiene un componente para acercarse o alejarse de la mandíbula fija y otro componente en la dirección de la biela, lo que produce realmente un movimiento elíptico. Este movimiento origina un frotamiento de la roca con las mandíbulas superior al caso anterior, hecho que provoca un mayor desgaste por abrasión, principalmente, en

la parte inferior. Los primarios de mandíbulas se identifican según el tamaño de la boca de alimentación, viendo el gráfico de la figura 12 sería la *Dimensión 7 por Dimensión 1*.

Figura 12.

Medidas más comunes de los primarios de mandíbulas.



Número	Descripción	Número	Descripción
1	Profundidad de boca de alimentación	5	Carrera
2	Mandíbula móvil	6	Angulo de mordedura
3	Mandíbula fija	7	Ancho de boca de alimentación
4	Reglaje lateral cerrado (css)		

Nota: Adaptado de *Términos sobre la trituradora de mandíbulas*, de Metso Minerals, 2003. <https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

Tomando en cuenta las características mencionadas de estos equipos, vamos a escoger el primario de mandíbula de efecto simple que nos proporcionará una buena producción a bajo costo por tonelada producida.

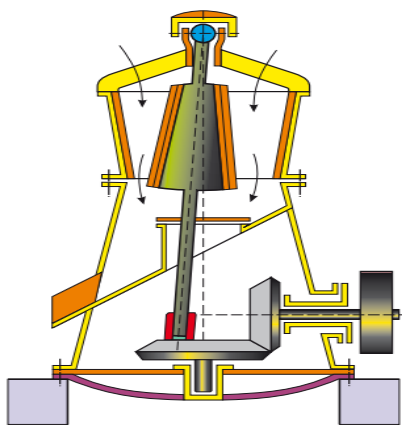
Trituradoras Primarias de Cono Giratorias

Las partes principales de una trituradora cónica son las siguientes: manto fijo, manto móvil, eje excéntrico, conjunto motriz (Piñón y Corona), mecanismo de reglaje (Abrir y Cerrar), estructura exterior, fuente de poder.

Todas las trituradoras de cono giratorias poseen un eje oscilante. El material es triturado en una cavidad o cámara de trituración entre un elemento exterior fijo (manto fijo) y un elemento interior móvil (manto móvil) montado en el conjunto del eje oscilante. Un eje excéntrico accionado por corona y piñón produce el movimiento oscilante del eje principal. La excentricidad hace que la cabeza del cono oscile entre las posiciones del lado abierto y del lado cerrado provocando la fragmentación del material por la compresión que ocurre entre los mantos alrededor de la cámara. La excentricidad es uno de los factores más importantes que determinan la capacidad de las trituradoras de cono y giratorias. En plantas grandes la trituradora giratoria no tiene rival, pueden producir 1,200 ton/h (700 m³/h) para arriba. (Ver figura 13.)

Figura 13.

Triturador primario de cono giratorio.



Nota: Adaptado de *términos sobre la trituradora de mandíbulas*, de Metso Minerals,

2003. <https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

Para obtener una abertura de alimentación correspondiente a la de una trituradora de mandíbulas, la trituradora giratoria primaria debe ser mucho más alta y pesada, también requiere mejores cimentaciones y estructura lo que las hace más caras.

Las trituradoras primarias de cono giratorias se usan en la primera etapa de trituración siempre y cuando el material de la cantera lo permita, es decir, el tamaño de la roca debe ser menor a la capacidad del cono. La fragmentación del material resulta de la compresión que ocurre entre los forros o mantos alrededor de la cámara. Como se ha mencionado anteriormente, por su alta capacidad de producción y su costo de instalación alto no es rentable para nuestro proyecto.

Trituradoras de Impacto Primarias

Son equipos de alta producción y han sido diseñadas para aceptar material de alimentación de grandes dimensiones que llegan a medir hasta $1800\text{ mm de diámetro}$ y nos dan producciones que llegan a las 2000 Ton/h ($1200\text{ m}^3/\text{h}$). Las trituradoras de impactos primarias se usan normalmente con materiales suaves (piedra caliza) y donde la cantidad de finos producida no constituye un problema. De todos los tipos de trituradoras la de impacto es la que produce el producto más cúbico. Existen en el mercado dos tipos de impactores:

- Impactores de eje vertical.
- Impactores de eje horizontal.

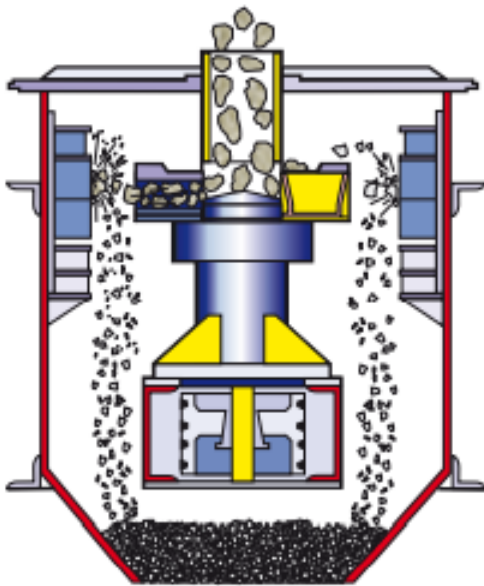
Estas máquinas se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto. Las trituradoras de impactos consisten en una carcasa de placa de acero integrando a un eje y un conjunto de rotor. El número de piezas móviles es muy reducido, lo que lo hace ser de bajo mantenimiento. La trituradora de impacto primaria ofrece alta capacidad y ha sido diseñada para aceptar material de alimentación de grandes dimensiones. Las trituradoras de impacto primarias se usan para procesar desde 200 ton/h hasta 1900 Ton/h y tamaños de alimentación de hasta $1,830\text{ mm}$ (71 pul) en el modelo más grande.

Impactores de eje vertical

Las trituradoras de impacto de eje vertical (VSI) pueden considerarse “bombas de piedra” que funcionan como una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del rotor, donde es acelerado a alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor. Ver figura 14.

Figura 14.

Impactador de eje vertical.



Nota: Adaptado de Términos sobre la trituradora de mandíbulas, de Metso Minerals, 2008. <https://dokumen.tips>

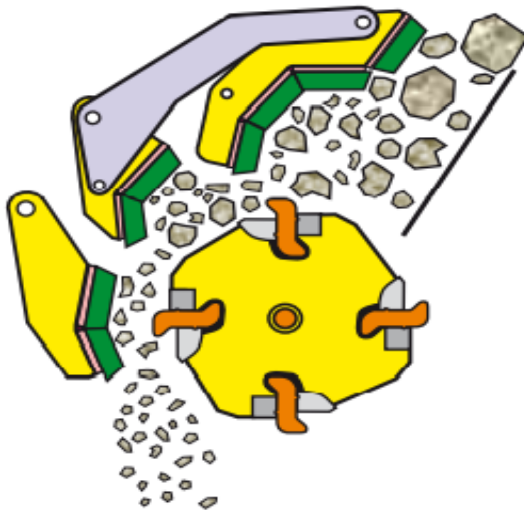
La trituración ocurre mientras el material impacta a alta velocidad contra los forros de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca. La trituradora de impactos primaria ofrece alta capacidad y ha sido diseñada para aceptar material de alimentación de grandes dimensiones.

Impactadores de eje horizontal

En este tipo de molino, el material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos fijados al rotor. Ver figura 15.

Figura 15.

Impactador de eje horizontal.



Nota: Adaptado de Términos sobre la trituradora de mandíbulas, de Metso Minerals, 2008. <https://dokumen.tips>

Las partículas resultantes son, posteriormente, retrituras dentro de la caja al chocar con las piezas de la trituradora y entre sí mismas, lo cual produce un producto más fino y con mejor forma cúbica. Además, puede recibir rocas de mayor tamaño que el de eje vertical, pero no se recomienda para materiales duros. Por lo mencionado en párrafos anteriores estas máquinas no son aptas para el proyecto propuesto, primero por la dureza del material y segundo que para usarlas de primario son de una gran producción.

Trituración Secundaria, Terciaria y Cuaternaria.

Recordemos, un buen proceso de trituración debe garantizar productos finales de alta calidad con el costo más bajo posible por tonelada. Al diseñar una planta de trituración se deben evaluar las características del material, la capacidad de producción requerida, el tamaño y la forma del material de alimentación, así como el tamaño y la forma del producto final. Tras la selección cuidadosa de cada equipo, el proceso tendrá las características idóneas para lograr niveles óptimos de calidad, productividad y fiabilidad.

El propósito de la trituración intermedia o secundaria es reducir aún más el material que viene del primario.

Existen en el mercado varios equipos que pueden satisfacer estas necesidades y son:

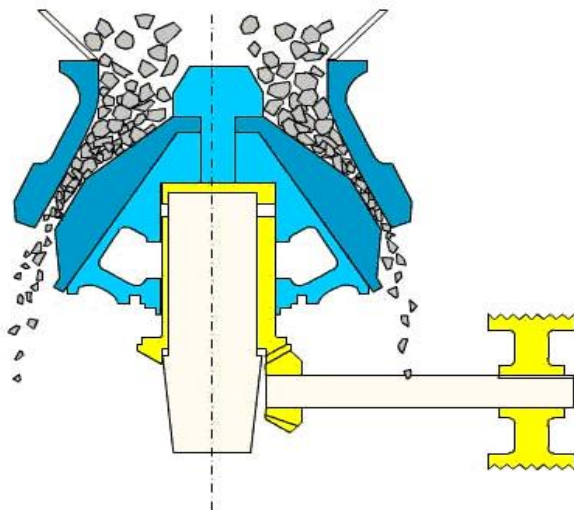
- Trituradoras de cono.
- Trituradoras de impacto de eje vertical.
- Trituradoras de impacto de eje horizontal.

Trituradoras de Cono Secundarias, Terciarias y Cuaternarias

El factor determinante para el desempeño de una trituradora de cono en determinada fase es el perfil de la cámara o cavidad de trituración. Este perfil se puede variar solamente cambiando los mantos o forros permitiéndole a un mismo equipo trabajar como secundario, terciario o cuaternario. Además, hay que tomar en cuenta que la capacidad de producción va a variar según el tipo de mantos que se instalen. (Ver figura 16.)\

Figura 16.

Triturador de cono



Nota: Adaptado de *Términos sobre la trituradora de mandíbulas*, de Metso Minerals, 2003. <https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

El molino de cono se usará siempre que se requieran producciones altas de rocas con una alta Abracibilidad y cuya friabilidad sea media o baja. (Eiranova, 2012)

Este tipo de trituradoras se usan para obtener tamaños intermedios y finos con una regular forma cúbica, es decir que cuente con la mayor cantidad de caras fracturadas posibles.

La trituración la hace por compresión debido al movimiento excéntrico que hace la parte móvil al girar. Son de construcción resistente y de alta productividad. Externamente, contienen resortes o pistones hidráulicos que se comprimen en caso de que, entre algún material no triturable a la cámara de compresión, si esto pasara los resortes o pistones hidráulicos se comprimen liberando la salida del material sin causarle daño a la máquina.

Trituradoras de Impacto Secundaria, Terciarias y Cuaternarias de Eje Vertical (VSI)

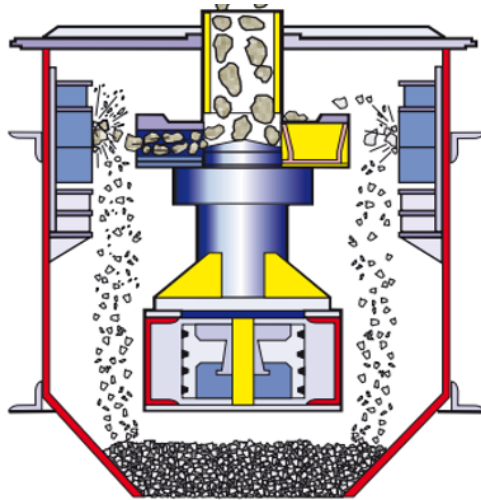
Los impactores de eje vertical son los más usados en la industria de la molienda de roca. Están compuestos por un rotor acoplado a un eje vertical que es accionado por poleas y que gira

alrededor de 2000 rpm, mediante un tubo de alimentación las rocas calibradas con un tamaño máximo establecido por el fabricante entran al rotor y salen expulsadas a grandes velocidades hasta chocar con los forros de la carcasa exterior produciéndose la fragmentación de las piedras obteniendo un producto de mejor forma, menor humedad y fácil tamizado a un costo menor.

(Metso, Matra Costa Rica, 2011) (Ver figura 17.)

Figura 17.

Trituradora de impacto de eje vertical.



Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2003.

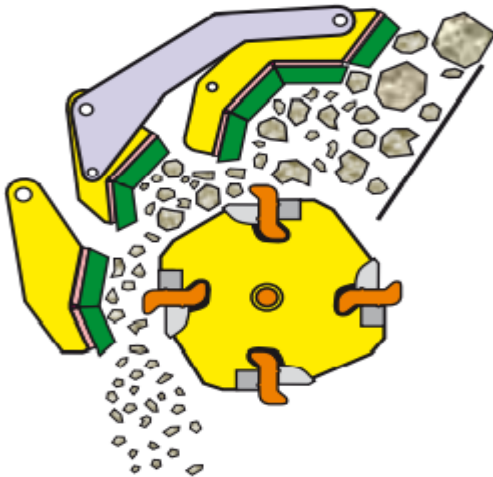
Las trituradoras de eje vertical se usan, principalmente, en la producción de agregados donde la cubricidad es un requisito indispensable. La fase terciaria es, generalmente, la última en una planta de trituración, en algunos casos se usa una fase más (cuaternaria), pero no es común verlas. En la fase terciaria, se obtienen los productos finales para la producción de mezcla asfáltica y arena.

Trituradoras de Impacto Secundaria, Terciarias y Cuaternarias de Eje Horizontal (VHI).

El material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de los martillos (barras fijas al rotor). Las partículas resultantes son, posteriormente, retrituras dentro de la cámara al chocar con las piezas de la trituradora y entre sí mismas, produciendo un producto más fino y con mejor formato. (Ver figura 18.)

Figura 18.

Triturador de impacto de eje.



Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008.

Como se ha explicado antes, este tipo de máquinas no son recomendables para materiales duros, su funcionamiento óptimo se logra con materiales calizos y en procesos donde la cantidad de finos producidos no tiene importancia. Son idóneas para usarlas en la fase final del circuito ya que nos proporciona un producto altamente homogéneo y de una excelente cubicidad.

En resumen, para nuestra propuesta usaremos los siguientes equipos:

Tabla 2.

Equipos Recomendados por fases

Fase	Tipo de Equipo	Calidad del producto
Primario	Triturador de mandíbula simple	Laminado
Secundario	Cono giratorio Equipos	Laminado
Terciario	Impactor de Eje Horizontal (VSI)	Cúbico

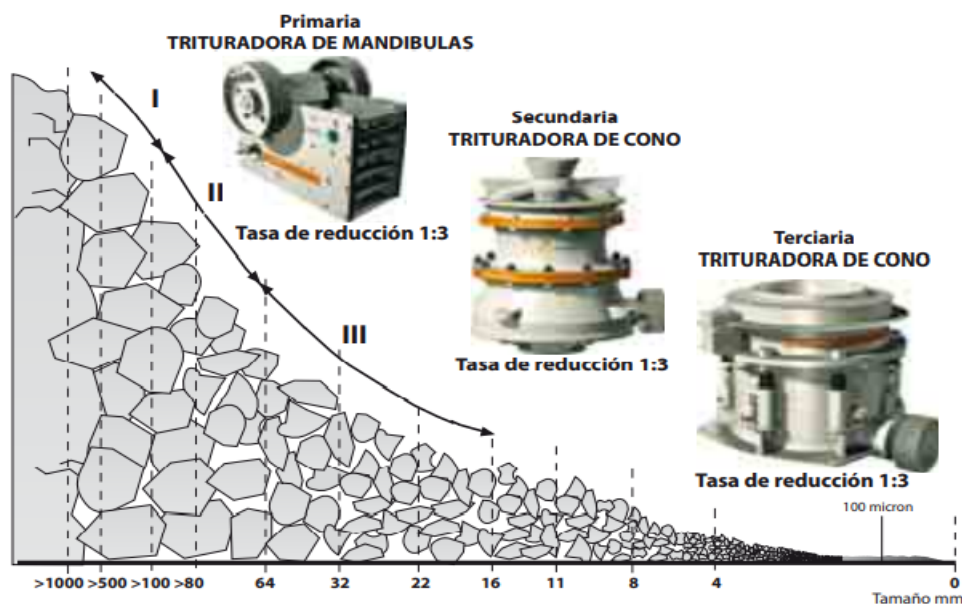
Análisis del Sistema de Trituración

Cálculo de la Tasa de Reducción

Todas las trituradoras poseen una tasa de reducción limitada, lo que significa que la reducción de tamaño se hace por etapas, dividiendo en trituración primaria, trituración secundaria y trituración terciaria. (Ver figura 19.)

Figura 19.

Sistema de trituración.



Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008.

Todas las trituradoras poseen una tasa de reducción limitada, lo que significa que la reducción de tamaño se hace por etapas. La cantidad de etapas depende del tamaño de alimentación y del producto requerido, como se demuestra a continuación en la tabla 3.

Tabla 3.

Descripción de tamaño de rocas.

Tamaño de Roca de alimentación RA	400 <i>mm</i>
Tamaño de roca Requerido TR	16 <i>mm</i>
Tasa de Reducción RA/TR	25

Esto quiere decir que, si se tiene un material para alimentar la planta de 400 *mm* de diámetro y se requiere un producto final de 16 *mm*, se debe reducir 25 *veces*. Según la fig. 23, la tasa de reducción en cada fase es de 3. Bajo esta premisa y con las mismas condiciones del cuadro anterior, si el objetivo es hacer la molienda con un primario y un secundario, se obtendría lo siguiente, ver tabla 4.

Tabla 4.

Reducciones por fase, circuito de dos fases.

Circuito de dos fases	
Fases	Reducciones por Fase
Reducción Primaria RP	3
Reducción Secundaria RS	3
Tasa de Reducción $RP \times RS$	9

Del cuadro anterior, se concluye que con una planta de dos fases (primario y secundario), no es posible obtener el producto deseado. Con esta configuración la máxima reducción que se puede obtener es 9 y se necesitan 25 reducciones para llegar al producto deseado que es de 16

mm. Para lograrlo, es preciso incluir una fase más, es decir, un terciario. Dicho esto, se obtiene lo expuesto en la tabla 5.

Tabla 5.

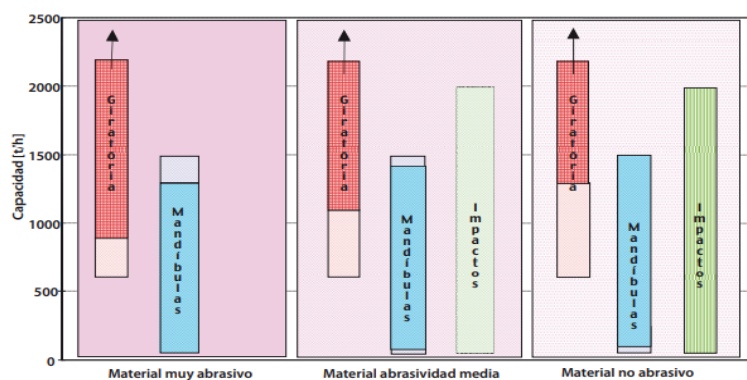
Reducciones por fases, circuito de tres fases.

Circuito de Tres Fases	
Fases	Reducciones por Fase
Reducción Primaria RP	3
Reducción Secundaria RS	3
Reducción Terciaria RT	3
Tasa de Reducción $RP*RS*RT$	27

Al hacer la multiplicación de los factores de reducción por fase, se obtiene un producto de 27 que es superior a las 25 que se requerían para obtener el material de 16 mm solicitado. De lo anterior, y con ayuda de las siguientes gráficas, es posible seleccionar el tipo de máquina que se puede adaptar a las condiciones existentes en la cantera. (Ver figura 20.)

Figura 20.

Horas recorridas por dureza de material.



Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado, de Metso Minerals, 2008; página 3-7

La figura 20 muestra el tipo de unidad que se recomienda usar según las toneladas por hora requeridas y la dureza del material.

Figura 21.

Uso de equipos según el tamaño de la roca de alimentación.

Tipo principal de trituradora	Etapa típica del proceso	Tamaño de alimentación hasta (mm)	Tamaño típico máximo del producto final (mm)	Capacidades típicas (t/h)	Abrasividad		Cantidad de finos producidos	Corrección de la forma del producto
					baja	alta		
Trituradora giratoria (grande)	primaria	1.500	200-300	más de 1.200		x	baja	
Trituradora de mandíbulas	primaria	1.400	200-300	hasta 1.600		x	baja	
Trituradora giratoria de cono	primaria/secundaria	1.300	200-300	hasta 1.800	x		media/alta	sí
Trituradora giratoria de cono	secundaria	450	60-80	hasta 1.200	x	x	baja	
Trituradora giratoria de cono	terciaria	300	0-30	hasta 1.000	x	x	baja/media	sí
Barmac VSI serie B	terciaria	40	0-30	hasta 600	x	(x)	alto	sí
Barmac VSI serie VI	terciaria/secundaria	150	0-30	hasta 500	x		alto	sí

Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008; página 3-7

En la figura 21, se muestran los tipos de máquinas recomendadas para un tamaño dado y la dureza del material. También brinda una idea del producto final que se obtendrá en cuanto a tamaño, cubicidad y la producción de arena.

El impacto de las características de roca y de los parámetros de las trituradoras en el producto final es complicado, en muchos casos el impacto de un parámetro puede ser contrario a lo esperado, dependiendo de otro parámetro. (Metso, Manual de Trituración y Cribado, 2008). ejemplo práctico es la influencia de la excentricidad de la trituradora de cono en la forma del producto. Si la alimentación contiene fracciones más pequeñas que el reglaje de la trituradora, una excentricidad mayor es buena para la forma del producto. Sin embargo, si la fracción de la

alimentación es estrecha, sin fracciones más pequeñas que el reglaje, una excentricidad menor es la mejor opción.” Metso Minerals (2008, Tercera Edición)

En síntesis, el rendimiento de una trituradora de roca consiste en la reducción del tamaño, la producción, el consumo de energía y la calidad (granulometría y forma de las partículas); considerando también la observación del proceso para definir el mejor reglaje en las configuraciones de los equipos.

Hasta ahora se han tomado en cuenta los equipos que ayudan a reducir el tamaño de la roca, pero una vez reducido el material es preciso incorporar sistemas de cribado, los cuales permiten seleccionar los materiales una vez que hayan pasado por cualquier unidad de trituración. Actualmente, los fabricantes de estos equipos poseen simuladores que brindan información confiable del proceso tomando en cuenta los parámetros antes mencionados.

Sistemas de Cribado

Una criba es una caja metálica que en su interior posee de uno hasta tres o más pisos de mallas o tamices. Estos tamices o mallas permiten la selección simultánea de material según las aberturas de cada malla. La cantidad de materiales seleccionados es igual al número de paños que se puedan instalar. Existe una teoría probabilística que estudia a fondo el paso de un grano determinado por una abertura mayor que la dimensión de este pero este punto no se va a tratar en este documento.

En el caso de esta investigación, el cribado es una operación mecánica cuyo objetivo básico es separar los productos que ya tienen un determinado tamaño o rango de tamaños de

aquellos que no reúnen las dimensiones adecuadas. Las funciones de cribado en el proceso de trituración son las siguientes:

- Separar los fragmentos no deseados contenidos en una mezcla con el fin de eliminarlos, enviarlos a una nueva etapa de fragmentación o desecharlos en el caso de materiales orgánicos como maderas, plásticos, etc.
- Para realizar un deslamado o lavado, esto es la eliminación de arcillas o limos de naturaleza coloidal.
- Para la obtención de un producto que cumpla unas especificaciones técnicas específicas.
- Necesidad de una granulometría determinada en operaciones de control de calidad o en trabajos de investigación.
- Necesidad de obtener un tamaño determinado para que los procesos de trituración posteriores operen de forma adecuada.

Antes de seguir, es conveniente definir algunos términos que nos permitirán entender mejor el concepto de cribado.

Definición de Términos

- **Sobretamaño o rechazo:** porcentaje de las partículas que se depositan sobre una criba que son superiores al tamaño de clasificación.
- **Pasante:** porcentaje de partículas que se deposita sobre una criba cuyo tamaño es inferior al tamaño de clasificación y pasa a través de la malla.
- **Fino:** porcentaje del material de alimentación formado por las partículas que son inferiores a la mitad del tamaño de clasificación.

- **Retorno:** porcentaje o masa de partículas finas que no atraviesan la criba y se van con el sobre tamaño o rechazo.
- **Chorro:** es todo el material antes de entrar a la criba.

Clasificación de Cribas

Las cribas se clasifican en estáticas y dinámicas:

Cribas Estáticas

La función de estas máquinas clasificadoras es la misma que las dinámicas, seleccionar materiales, pero la gran diferencia es que son fijas, (ver figura 22.)

Figura 22.

Criba estática.



Nota: recuperado de <https://i.ytimg.com/vi/sItPhgQbOb0/maxresdefault.jpg>

La alimentación se hace con equipos de carga como se ilustra en la figura anterior. Su uso se limita a la eliminación de finos o materiales gruesos.

Cribas Dinámicas.

Este tipo de cribas son las que más se usan en la industria de la molienda de roca. Todas estas máquinas usan para su desempeño unos mecanismos que al hacerlos girar a ciertas revoluciones provocan vibraciones o saltos los cuales hacen posible el cribado y el desplazamiento del material desde la entrada hacia la salida y, por lo general, están contruidos de ejes con pesos excéntricos accionados por motores eléctricos y acoplados por medio de poleas o de transmisión directa. El objetivo de colocar estos contrapesos es:

- Acelerar el cribado de material.
- Mantener las mallas limpias.
- Hacer que el material se desplace desde la entrada hacia la salida de la criba.

El movimiento ondulatorio provocado por estos vibradores posee las siguientes características:

- Amplitud, indica la magnitud de las vibraciones.
- Frecuencia, indica la velocidad con que se repiten los saltos.

Cuanto mayor sea la amplitud, mayor será el salto del material dentro de la criba.

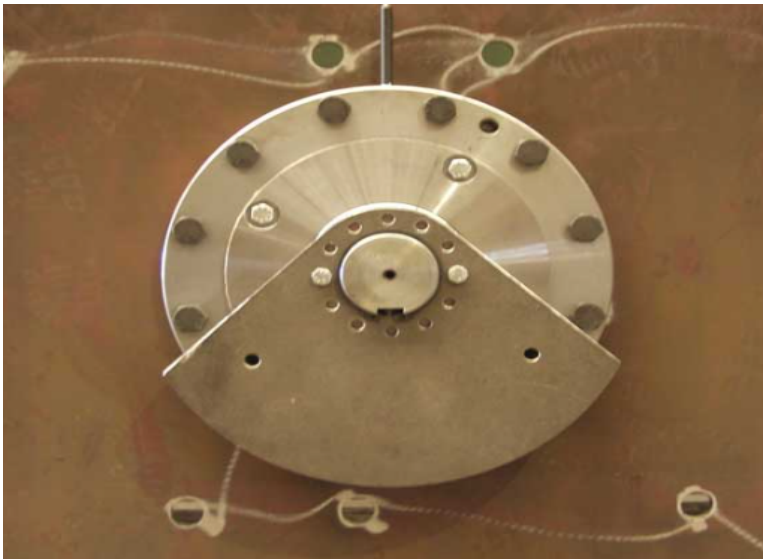
Para un buen cribado se necesita una buena relación entre amplitud, frecuencia y la velocidad de las partículas de la posición inicial hasta la salida del área de cribado. Hay que aclarar que el cambio de la amplitud no tiene nada que ver con la velocidad con que las partículas se desplazan dentro de la criba; si se quiere modificar este factor, se debe variar el peso y/o posición de las masas de los contrapesos.

Tipos de Contrapesos Usados en Cribas Dinámicas

Este tipo de mecanismos se usa en cribas inclinadas de trabajo ligero con un ángulo de 20 a 40 grados con respecto a la horizontal, consta de un eje concéntrico con contrapesos ajustables, dos cojinetes y una polea que lo une a un motor eléctrico. (Ver figura 23.)

Figura 23.

Eje con polea desbalanceada



Nota: Adaptado de *cribas vibratorias*. Pozzato s.r.l. Tomado de:

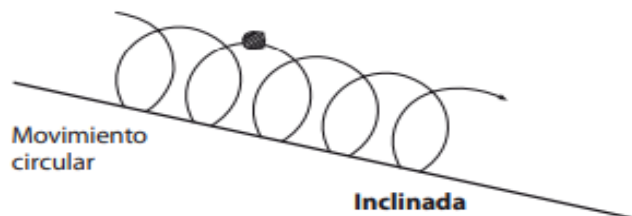
<https://www.pozzato.it/en/products/vibrating-screens/>

Al girar, el contrapeso hace que la criba empiece a oscilar, la amplitud se puede variar cambiando la masa de los contrapesos y la frecuencia se varía modificando la velocidad de eje.

El movimiento obtenido de estos mecanismos es usado para variar la eficiencia de cribado en el circuito. Los cambios en la velocidad de desplazamiento del material se hacen variando el grado de inclinación de la criba. (Ver figura 24.)

Figura 24.

Movimiento de una partícula en una criba inclinada.



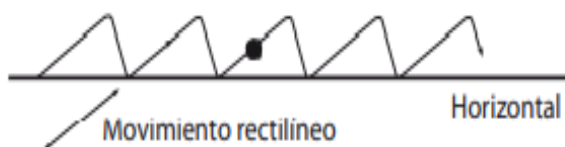
Nota: Adaptado de *Criba inclinada*. Metso Minerals. 2003.

<https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

Generalmente, para estas cribas la velocidad de rotación del eje se encuentra en un rango de 500 a 1000 rpm y la masa del contrapeso, la potencia del motor y la cantidad de toneladas procesadas dependen del tamaño y peso específico del material que se va a procesar. La amplitud se divide en dos componentes, una vertical que es la que hace el salto de la criba y otra horizontal que va a mover el material hacia la salida de esta. (Ver figura 25.)

Figura 25.

Movimiento de partículas en una criba horizontal.



Como se ha indicado párrafos anteriores, se sabe que las cribas tienen una función muy importante en los circuitos de trituración. Dependiendo de su ubicación, así será el tipo de criba

que se deberá usar. Los sistemas de cribado poseen una función importante en el incremento de la calidad del producto final, además de seleccionar el material pueden separar desechos y materiales inadecuados en las distintas fases del proceso.

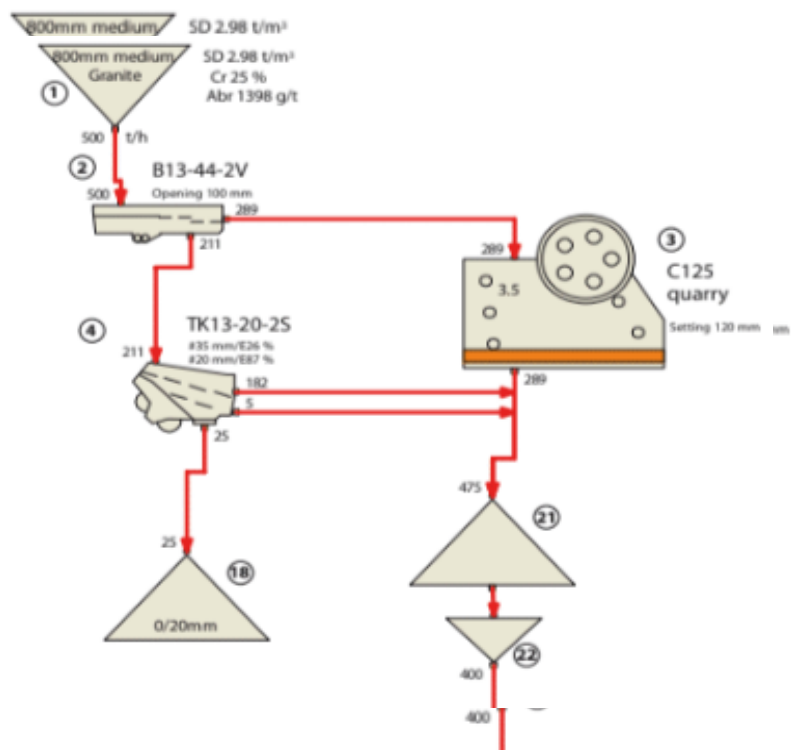
Uso de las Cribas en los Diferentes Circuitos de Trituración

Las ubicaciones más comunes de las Cribas en un circuito de Trituración son las siguientes:

- i. Antes de entrar a la trituradora primaria para extraer los desechos orgánicos del material de alimentación con el uso de la criba Scalper. (Ver figura 26.)

Figura 26.

Criba Scalper.

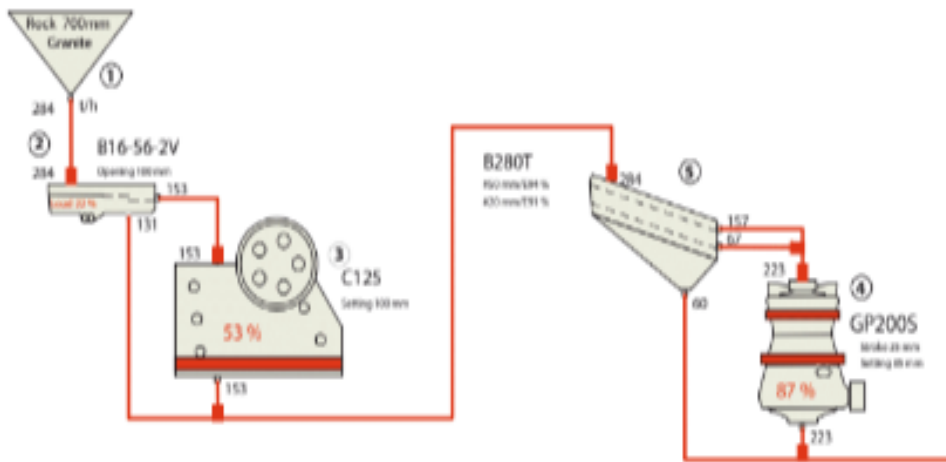


Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado, de Metso Minerals, 2008; página

- ii. En la salida de la trituradora primaria para extraer material fino y pasarlos a la fase terciaria. Otra función de esta criba es sacar algún otro producto que se requiera, como por ejemplo material para gavión. (Ver figura 27.)

Figura 27.

Fase primaria de un circuito de trituración.

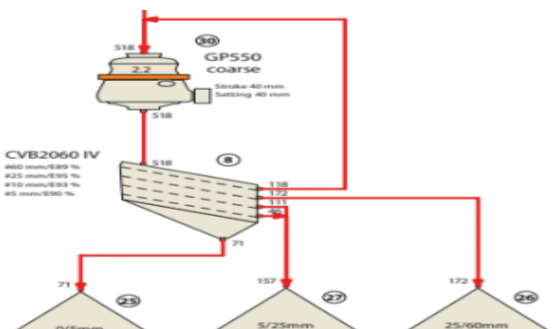


Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008; página 6-16.

- iii. Después de salir de la trituradora secundaria para clasificar los materiales requeridos en la línea de producción y devolver al secundario el material con mayor medida de la requerida. (Ver figura 28.)

Figura 28.

Fase secundaria de un circuito de trituración.

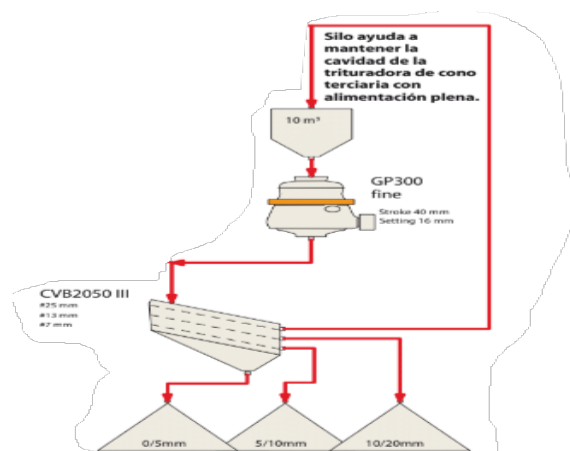


Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008; página 8-93.

- iv. Después de la trituradora terciaria para clasificar el material según se desee.

Figura 29.

Fase cuaternaria en un circuito de trituración.

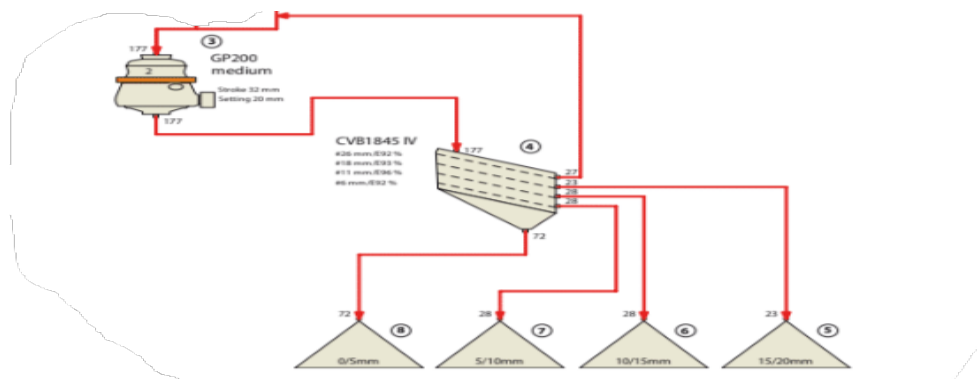


Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008; página 6-5.

- v. Posibilidad de triturar más productos usando cribas de tres o más paños sin necesidad de instalar una unidad más.

Figura 30.

Variante de un circuito de trituración usando criba de 4 paños.



Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008; página 8-91.

Tipos de Cribas Dinámicas

En la tabla 6 se brindará una guía con la aplicación de las diferentes cribas y la posición en el circuito de trituración.

Tabla 6.

Tipos de cribas.

Tipos de Cribas	Tipos de Cribas		Usos	Posición en el circuito
	Dinámicas	Estáticas		
Inclinadas	✓	✓	Clasificación	Después del secundario y terciario
Horizontales	✓		Clasificación	Después del secundario y terciario
Barras	✓	✓	Rocoso contaminado	Fuera del circuito
Grizzli	✓	✓	Eliminación de finos	Antes del primario
Giratorias	✓		Producto final	Último en el circuito

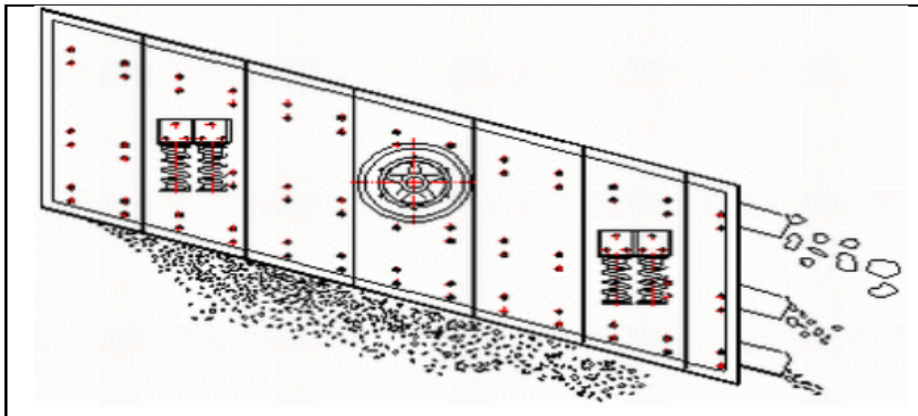
Cribas Dinámicas Inclinadas.

Estas cribas son de bajo consumo de potencia, ya que aprovechan la gravedad para hacer el trabajo de cribado, (ver figura 31), dentro de las características tenemos que:

- No requieren de alta eficiencia, excepto en plantas de dos etapas donde se usa la misma criba para seleccionar el producto final (circuito cerrado).
- Pueden ser de uno o más paños de mallas.
- La eficiencia, debido a su inclinación no es buena.
- Se pueden usar como criba intermedia.

Figura 31.

Criba dinámica inclinada.



Nota: Adaptado de *criba de tres escalones* por Emilio Andrea Blanco. Tomado

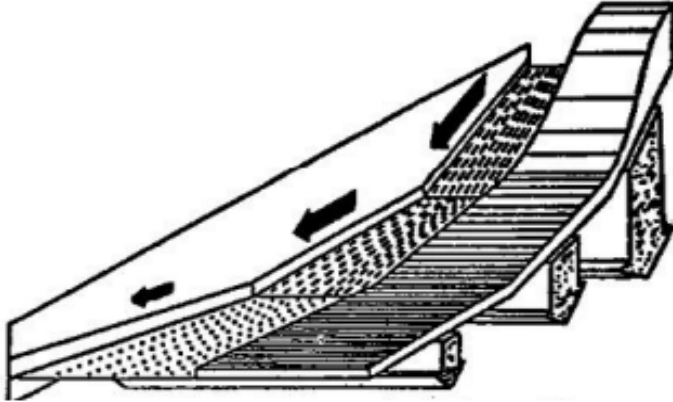
de: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

Cribas Inclinadas Tipo Banana

Son una variante de las cribas inclinadas, se constituye de tres tramos denominadas con diferente pendiente. (Ver figura 32.)

Figura 32.

Criba inclinada tipo banana.



Nota: Open Course Ware, Universidad de Cantabria, Bloque II, Capítulo 9. Clasificación, Cribado. https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

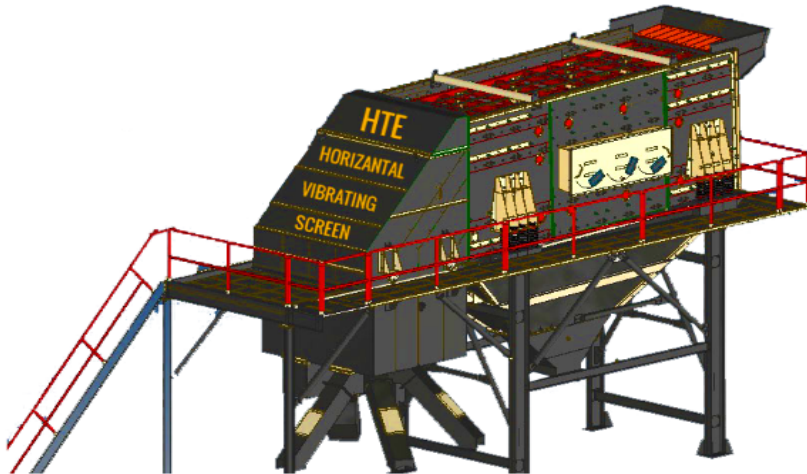
En esta disposición en el extremo de la alimentación el ángulo de la criba es de unos 25° y 40° y el material avanza a unos 3 a 4 *m/seg*. En la zona central la inclinación es de unos 15° a 20° y el material avanza a unos 1 a $1,5$ *m/seg* y en la zona final de descarga, puede ser de 15° a 0° y el material avanza a unos $0,5$ a $0,8$ *m/seg*. Esta disposición permite al principio un avance rápido del cribado y al final para mejorar la eficiencia y permitir el paso de los tamaños críticos se disminuye la velocidad de paso. Su uso es indiferente, es decir, se puede usar en cualquier parte de la planta y los tamices pueden ser de parrillas para materiales grueso, mallas para materiales intermedios y finos.

Cribas horizontales

Estas cribas requieren más potencia, pero son de alta eficiencia. Se pueden usar en todas las fases de la planta excepto en la entrada del alimentador. (Ver figura 39.)

Figura 33.

Criba horizontal.



Nota: adaptado de *Criba vibratoria horizontal de engranaje* de Corporacion FABO.

2023. tomado de <https://fabo.com.tr/es/criba-vibratoria-horizontal-de-engranaje/>

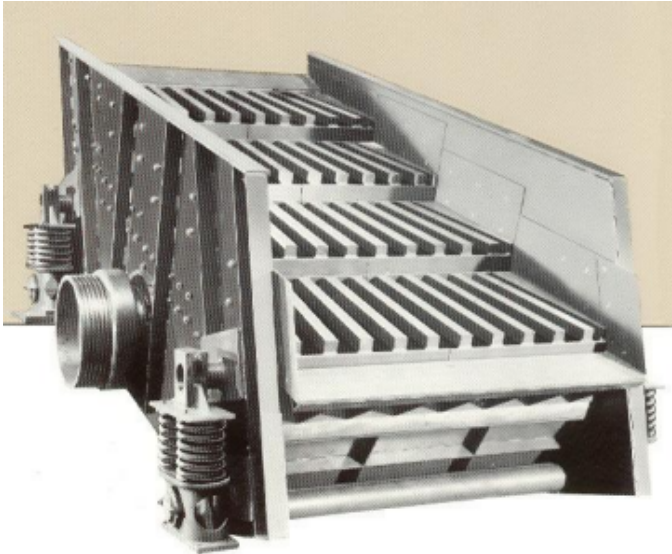
Además, constan de una caja metálica con dos o más ejes perpendiculares en la parte superior o intermedia acoplados por engranajes y contrapesos debidamente sincronizados para regular la amplitud y la velocidad de la piedra de la entrada a la salida de esta. Estas son favorables cuando el espacio es limitado. En la actualidad se están usando mallas o tamices fabricados en Poliestireno que brindan una mayor eficiencia y mejoran el costo por tonelada producido. También se han mejorado las geometrías de los paños para cribar de una manera más eficiente la masa de material que se le está suministrando. El uso de balanceadores o contrapesos ayuda a reducir el costo energético de la misma.

Cribas de Barra y Grizzly

El diseño de la criba produce aberturas longitudinales de gran extensión, estas son utilizada comunmente para la separación preliminar a la trituración primaria.. (Ver figura 34.)

Figura 34.

Criba de barra.



Nota: Adaptado de *Criba de barra* de Montes de Oca Risco, 2018.

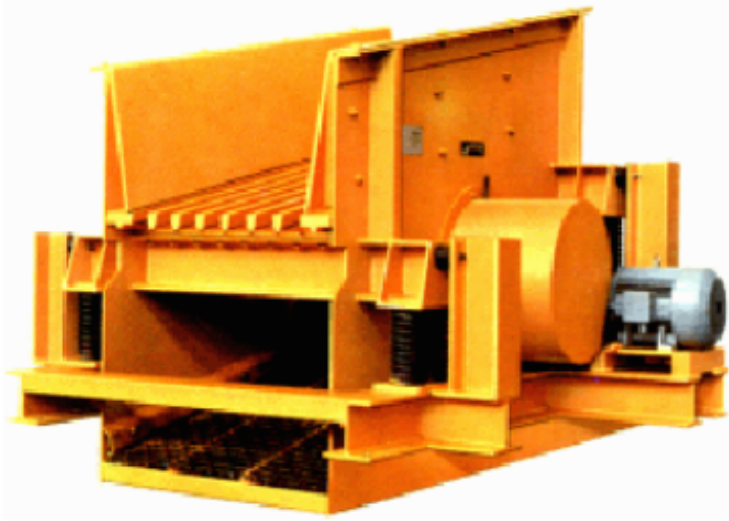
https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

El tamaño de cribado o tamaño de paso se relaciona con la separación entre barrotes que aumenta a medida que avanza el producto a cribar esto con el fin de que no se produzcan atascos. Posee requisitos de eficiencia bajos y, generalmente, se usa para materiales vírgenes que no requieren de alta calidad de cribado. Por lo general, son de un solo paño de barras.

Dentro de las cribas de barra se encuentra la conocida como Criba Grizzly, la que comúnmente se ubica entre el alimentador y el triturador primario y se usa básicamente para separar el material que no necesite ser triturado en esta etapa y eliminar en el segundo paño los finos naturales de la cantera y no requiere de controles de eficiencia de cribado. (Ver figura 35.)

Figura 35.

Criba Grizzly.



Nota: Adaptado de *Criba vibratorio Grizzly* de Montes de Oca Risco, 2018.

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

Criba Giratoria, Tambor o Trómeles.

Poseen un movimiento giratorio. Están constituidas por un cilindro cuya envolvente está perforada. Se alimentan por un extremo y por la parte cilíndrica o cuerpo del cilindro perforado, salen los finos y por el otro extremo los gruesos o rechazo. (Ver figura 36.)

Figura 36.

Criba de tambor.



Nota: Adaptado de Criba de tambor o giratoria de Montes de Oca Risco, 2018.

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/9._clasificacion_cribado.pdf

Existen modelos con tamaños de perforación diferente a medida que se avanza en el sentido de la descarga y clasifican en más de dos tamaños.

- Se usan en plantas de baja producción.
- La clasificación obtenida es de regular calidad.
- Se ubica en cualquier fase del circuito.

Cálculo de la Potencia Para Cribas Inclınadas y Horizontales.

La potencia necesaria en el motor de una criba se obtiene por aplicación de la fórmula de la siguiente fórmula:

$$P = \tau \cdot \omega \rightarrow \tau = (G \cdot g) \cdot a$$

$$P = (G \cdot g) \cdot a \cdot \omega \rightarrow \omega = n \cdot \pi / 3$$

$$P = G \cdot g \cdot a \cdot n \cdot \frac{\pi}{3}$$

Terminología:

$G =$ *Peso de la parte móvil en Kg*

$a =$ *Amplitud en metros*

$\omega =$ *Radianes por segundo*

$n =$ *rpm*

$g = 9,81$ *m/seg*

Desarrollo:

$$P_{Kw} = (G \cdot g) a \cdot n \cdot \frac{\pi}{30} / 1000$$

$$P_{Kw} = P_{Kw} = (G \cdot g) a \cdot n \cdot \frac{\pi}{30} / 1000$$

$$P_{Kw} = P_{Kw} = 1,0273 \cdot G \cdot a \cdot n / 1000$$

$$P_{Kw} = G \cdot a \cdot n / 973,4$$

Expresada en CV se tiene:

$$P_{CV} = G \cdot a \cdot n / 716$$

Selección de las Cribas Dinámicas

Como se ha indicado párrafos anteriores, se sabe que las cribas poseen una función muy importante en los circuitos de trituración. Dependiendo de su ubicación, toneladas por hora que mueve y el tamaño y peso específico del material así será el tipo de criba que se deberá usar; en

la figura 37 se puede encontrar una guía de Metso para la selección de la criba en función de la aplicación.

Figura 37.

Guía para la selección de criba.

Servicio	Tamaño máximo de alimentación Mm (plg)	Separación mm (plg)	Tipo de criba aplicable	Rango de capacidad m ³ /h
Preclasificación	1.200 (48")	100–250 (4"–10")	Parrillas	150–3.000
Clasificación gruesa intermedia	400 (16")	100–200 (4"–8")	Cribas primarias	300–1.500
Clasificación media	250 (10")	50–100 (2"–4")	Cribas inclinadas y banana	100–800
Clasificación fina	200 (8")	2–50 (1/12"–2")	Cribas inclinadas, banana y horizontales	50–400
Clasificación extrafina	25 (1")	0,2–6 (N60–1/4)	Cribas de alta frecuencia	10–40
Desagüe	13 (1/2")	0,5 mm	Cribas de inclinación ascendente con movimiento lineal	100–250

Nota: Tabla de selección de cribas, tomado de CITATION MET08\I5130 (METSO MINERALS, 2008)

Funciones del Cribado

El cribado se define como una operación de clasificación por tamaño de fragmentos de dimensiones y formas variadas, obligándolos a enfrentarse a una superficie con aberturas (superficie de cribado) que permitirá el paso de aquellos granos con dimensiones inferiores al

tamaño de la abertura (pasante) y reteniendo o rechazando aquellos otros con un tamaño superior a la dimensión de la abertura (rechazo) (Martínez-Pagán, 2011)

Separación Preliminar

Normalmente, se usa antes de la trituradora primaria para separar el material fino evitando que pase innecesariamente por el primario.

No se requiere que sean eficientes y pueden ser de barras o inclinadas.

Cribado en circuito cerrado

Pueden ser cribas horizontales o inclinadas de eficiencia media excepto cuando se usa la misma criba para procesar el producto final.

Cribado del Producto Final.

En esta etapa se requiere una alta eficiencia de cribado, ya que es donde se seleccionan los productos finales del proceso de trituración. Las cribas que se van a usar pueden ser horizontales o inclinadas de tres o cuatro paños.

Superficie de Cribado

A continuación, se hablará de los dos métodos más comunes empleados para calcular la superficie de cribado y son los siguientes:

Método de alimentación: este método está basado en la masa sólida por unidad de tiempo que puede alimentar a una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

Método pasante: esta forma de cálculo toma en cuenta la masa sólida por unidad de tiempo que pasa por una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

En este caso, utilizando unidades *SI* la superficie específica en cuestión es de 1 m^2 y la luz de paso de la malla l_m se expresa en *mm*.

Cálculo de la Capacidad Básica o Específica *B*

La capacidad específica o básica es la masa sólida expresada $\frac{Ton}{(h.m^2)}$, ya sea de alimentación o pasante, que alimenta una malla con una abertura determinada y considerando los siguientes parámetros:

- a. Se define como material pasante a la masa que pasa a través de la malla y que constituye la fracción fina. También se debe aclarar que la eficiencia del cribado alcanzado se relaciona con la masa de partículas que realmente atravesó la malla contra las que teóricamente deberían de haber pasado.

Al momento de realizar las pruebas para determinar la capacidad específica se prepara un producto de alimentación “sintético” con un porcentaje de rechazo y semitamaño preestablecidos que en la mayoría de los métodos reputados conocidos oscila entre 25 % y 50 % para el rechazo, y entre 25 % y 40 % para el semitamaño, siendo casi unánime el valor de 40 % para este último, la eficiencia se establece entre 90 % y 95 %.

Es importante considerar esto último, esto significa que no pueden mezclarse los factores de corrección de un método con los valores de capacidad específica de otro y, por supuesto, mucho menos utilizar los valores de capacidad específica de un método pasante cuando se siga un método alimentación. Todos los métodos de cálculo serios incluyen unos factores de corrección para cubrir las diferencias del producto real de alimentación frente al considerado en la prueba del método en cuestión y lo mismo puede decirse con respecto a la eficiencia de cribado.

Factores de corrección de la capacidad básica

Los factores que afectan la capacidad básica son:

- A. Dependientes del material a cribar:

- A1. Granulometría, tamaños críticos.
- A2. Características físicas del material (densidad, forma de los granos, humedad, contenido en arcillas, etc.).
- A3. Producción, cantidad de material por unidad de tiempo tratado.
- B. Dependiente de la operación de cribado:
 - B1. Tamaño de corte (malla de clasificación).
 - B2. Tipo de superficie de cribado a utilizar (forma de las aberturas, calidad de la malla, metálica, de goma –caucho–, poliuretano, superficie útil).
 - B3. Rendimiento en pasante y eficacia a obtener.
 - B4. Cribado en seco o en húmedo; cribado con o sin riego de agua.
- C. Dependiendo del tipo de criba a utilizar:
 - C1. Altura disponible.
 - C2. Mecanismo y tipo de criba: de 1 eje (inclinada), de dos ejes (horizontal).
 - C3. Forma de circulación: a favor o contracorriente.
 - C4. Diseño de la criba, utilización del espacio con un distribuidor ($A < B < C$).

La capacidad básica multiplicada por estos factores de corrección f_t nos darán una capacidad básica corregida B_c .

El tonelaje teórico que debe atravesar la malla o tonelaje de alimentación, dividido entre la capacidad básica corregida nos dará la superficie de cribado, esto es:

$$S_{(\text{Superficie de Cribado})} = \frac{T_{(\text{Toneladas a Cribar o Pasante})}}{B_{(\text{Capacidad Básica})} * f_t} * f_s$$

Donde:

S = Superficie necesaria de cribado expresada en m^2

T = Masa de sólidos de alimentación o pasante expresada en $\frac{T}{h}$

B = Capacidad específica de alimentación o pasante expresada en $\frac{T}{((m^2)(h))}$

f_t = Factor total de corrección adimensional

f_s = Factor de seguridad

$$f_t = (f_d)(f_r)(f_s)(f_e)(f_a)(f_m)(f_p)(f_i)(f_o)$$

A continuación, vamos a definir cada uno de los factores que afectan la capacidad de cribado.

Densidad específica aparente f_d .

Los valores “empíricos” de la capacidad básica están basados en un producto de densidad específica $1,6 t/m^3$, por lo que, cualquier otro producto de distinta densidad tendrá una capacidad proporcional a la misma, es decir, el valor de la capacidad básica deberá ser corregido con el siguiente factor:

$$f_d = \frac{\rho}{1,6}$$

Donde el valor de ρ se obtiene de pruebas de laboratorio.

Factor de Rechazo

La capacidad básica considera un producto de alimentación con un 25% de rechazo, por lo que, cualquier otro porcentaje, significa que debe corregirse la capacidad básica con un factor f_r lógicamente $f_r = 1$ para un valor del rechazo $R = 25\%$. (Ver figura 38).

Figura 38.

Tabla de factor de rechazo.

Porcentaje de Rechazo (R) (%)	Factor de Rechazo (f_a)
0	1.10
5	1.08
10	1.06
15	1.04
20	1.02
25	1.00
30	0.98
35	0.96
40	0.94
45	0.92
50	0.90

Nota: Tabla de selección de factor de rechazo, tema 6 selección por tamaños, página 6-49

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Factor de Semitamaño

Esto es la cantidad de partículas inferiores a la mitad del tamaño de clasificación; como en el factor anterior, la capacidad básica fue calculada con base en un producto conteniendo 40% de partículas más finas que la mitad de la luz de la malla, por eso cualquier desviación debe

ser corregida aplicando un factor f_s , siendo $f_s = 1$ para un valor del *Semitamaño* = 40%. (Ver figura 39.)

Figura 39.

Tabla de factor de semitamaño\

Porcentaje de Semitamaño (%)	Factor de Semitamaño (f_s)
0	0.50
5	0.55
10	0.60
15	0.65
20	0.72
25	0.77
30	0.85
35	0.92
40	1.00
45	1.10
50	1.20
55	1.30
60	1.45
65	1.60
70	1.75
75	1.95
80	2.20
85	2.55
90	3.00
95	3.65

Nota: Tabla de selección de factor de semitamaño, tema 6 selección por tamaños, página 6-50 <https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Factor de Eficiencia

Los valores de capacidad básica fueron calculados con base en una eficiencia o rendimiento de cribado, $E = 94\%$, es decir, el 6 % de las partículas finas que debería haber pasado por la luz de la malla no pasaron, por lo que, cualquier divergencia con esta hipótesis debe ser corregida con un factor de eficiencia $f_e = 1$ para una eficiencia = 94% .

Figura 40.

Tabla factor de rendimiento

Rendimiento (E) (%)	Factor de Eficiencia (f_e)
98	0.60
96	0.85
94	1.00
92	1.05
90	1.12
85	1.26
80	1.41

Nota: Tabla de selección de factor de rendimiento, tema 6 selección por tamaños página 6-51

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Al momento de efectuar un cálculo de cribado interesa, principalmente, asegurar la calidad de los diferentes productos y, en general, que el valor de *Desclasificados D*, en el producto grueso sea lo menor posible. Un valor normal de desclasificados podría considerarse entre 10% y 15%. Este valor de desclasificados condiciona la eficiencia *E*, de cribado y con bastante frecuencia combinar una buena eficiencia y un bajo valor de desclasificados resulta imposible.

Es muy frecuente que cuando el producto a cribar posee un elevado contenido de partículas inferiores al tamaño de corte, aún con una elevada eficiencia se obtengan altos valores de desclasificados, esto por pura matemática no por deficiencia del equipo de cribado. Recíprocamente alcanzar un bajo valor de desclasificados significaría operar con eficiencias por encima del 98 % lo cual es lógicamente imposible. Para el cálculo de la superficie de cribado

basta con conocer la relación entre eficiencia y desclasificados en función del porcentaje de partículas finas inferiores al tamaño de corte, lo que conocemos como pasante P .

$$D = \frac{P(1-E)}{(1-(P*E))} \quad E = \frac{(P-D)}{P(1-D)}$$

Para concluir este apartado, se van a aclarar dos términos que ya se han descrito líneas atrás.

Eficacia del Cribado

Define la calidad del cribado identificando el producto mayor que la abertura de la malla que se encuentra en el rechazo. Indica también la cantidad de producto menor que la abertura de la malla que se encuentra en el rechazo y, por lo tanto, nos define la calidad del cribado. Este parámetro depende de la granulometría del material en la alimentación y está muy afectado por las fracciones denominadas “tamaños críticos” inferiores y superiores que se encuentran en el material de alimentación. La eficacia de la clasificación está comprendida, normalmente, entre el 40% y el 65%.

Eficiencia del Cribado

La eficiencia del cribado se define como la proporción entre el producto que realmente ha pasado a través de la criba, de tamaño menor que la abertura de la malla, con el producto que debería haber pasado conforme a su granulometría. El valor de este parámetro está normalmente entre 0,70 y 0,95, nunca la eficiencia puede llegar al valor de 1.

Un valor del parámetro de rendimiento de cribado o de eficiencia de cribado bajo determina problemas en toda la planta, además del cribado incompleto debido a la aparición de productos que no deberían estar en el rechazo, estos problemas son los siguientes:

Sobrecarga en un circuito cerrado: Una criba operando con baja eficiencia genera más carga circulante, una parte de material que debería pasar por la malla retorna al circuito, reduce el rendimiento del triturador y sobrecarga a las cintas transportadoras y otros equipos auxiliares.

Productos que no cumplen especificaciones. Un equipo que opera a baja eficiencia puede generar productos que no estén de acuerdo con las especificaciones o sus granulometrías no son constantes.

Cribado en Seco h

Los valores de la capacidad básica han sido obtenidos con base en un cribado en seco y con una humedad inferior al 3%. A menudo y más en los países tropicales los productos de alimentación no están exentos de humedad y a veces una humedad excesiva por encima de $h = 9\%$ puede impedir el cribado provocando la “obstrucción” de las mallas, haciendo necesario realizar el cribado por la vía húmeda. Por otro lado, cada producto tiene una humedad crítica, pero generalizando podría establecerse el siguiente factor de corrección f_h . Si $h > 9\%$, no se puede cribar en seco.

Figura 41. Tabla de factor de cribado en seco.

Humedad %	Factor de corrección (f_h)
≤ 3	1.00
$3 < H \leq 6$	0.85
$6 < H \leq 9$	0.75
$H > 9$	No se aplica (<i>Se debe cribar en húmedo</i>)

Nota: Tabla selección de factor de cribado en seco, tema 6 selección por tamaños, página

6-51

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Cribado Húmedo *a*.

Por razones climáticas, la calidad deseada del producto o características del agregado es necesario realizar el cribado por vía húmeda. El riego con agua beneficia principalmente al cribado de tamaños intermedios y prácticamente no afecta a tamaños de clasificación superiores a 50 mm, alcanzándose las mayores ventajas en las arenas (Pasantes de la malla #4).

Conociendo lo anterior, el factor positivo de corrección f_a que afecta al cálculo de cribado, varía en función de la luz de la malla l_m (ver Figura. La cantidad de agua a emplear en el riego depende de la calidad del producto que se está procesando y de las etapas posteriores que deban recoger el agua con la fracción fina cribada, pero en general puede considerarse un caudal de 1,00 a 1,50 m³ de agua por tonelada de material de alimentación. Se recomienda una presión del orden de 20-35 Psi.

Figura 42.

Factor de cribado húmedo.

Luz de malla (m) mm	Factor de cribado en húmedo (f_a)
< 0.5	1.00
1.0	1.42
1.25	1.70
2.0	2.20
4.0	2.50
5.6	2.35
6.3	2.25
8.0	2.00
10.0	1.42
11.2	1.35
12.5	1.30
14.0	1.25
16.0	1.20
20.0	1.15
22.4	1.13
31.5	1.06
40	1.03
50	1.00

Nota: Tabla selección de factor de cribado por vía húmeda, tema 6 selección por tamaños, página 6-52; <https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Además, es aconsejable no usar tubos perforados que después de pocas horas de trabajo están completamente obstruidos con suciedad y materia orgánica transportada en el agua empleada. Éstos producen una cortina de agua perfecta, de modo que se crea una distribución uniforme del agua en la superficie de la criba, consiguiendo un correcto lavado con mínimo consumo de agua. La imagen mostrada a continuación indica el caudal de difusores de poliuretano tipo “pico de pato”, en función de su diámetro y la presión del agua, así como el ancho del chorro plano que producen en la criba en función de la altura de colocación sobre la malla. (Ver figura 43.)

Figura 43.

Causal de difusores tipo pico de pato.

DIFUSORES AGUA DE POLIURETANO									
Diámetro Difusor (mm)	Caudal (m ³ /h)						Anchura chorro (mm)		
	A diferentes presiones (kPa)						Presión 150 kPa		
	50	100	150	200	300	400	Altura sobre malla (mm)		
	200	300	400				200	300	400
4	0,42	0,72	1,02	1,20	1,50	1,74	300	400	450
5	0,48	0,84	1,14	1,26	1,56	2,34	350	450	500
7	1,08	1,38	1,74	1,98	2,46	3,00	400	500	700
9	1,50	2,46	2,88	3,00	3,12	3,24	500	600	800

Nota: Adaptado de *Difusores de agua de poliuretano* de Concreto online, 2023.

<https://www.concretonline.com/canteras-graveras/calculo-de-la-superficie-de-cribado>

Con estos datos se puede determinar el número de difusores a colocar en línea en el ancho de la criba para cubrirla perfectamente. Mientras que el número total de difusores se establecerá en base al caudal total de agua que debe aportar el riego.

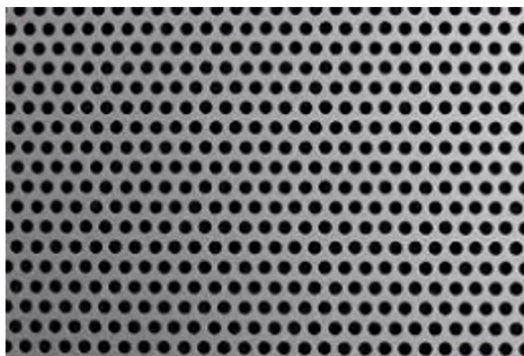
Factor de Malla

La capacidad básica ha sido calculada con malla de alambre de acero de sección de paso cuadrada, por lo que, otro tipo de apertura también tendrá una repercusión en la capacidad de cribado, debiéndose aplicar los siguientes factores. Si la malla es de apertura cuadrada $f_m = 1,0$. Si la malla es de apertura redonda $f_m = 0,8$. (Ver figura 44 y 45.)

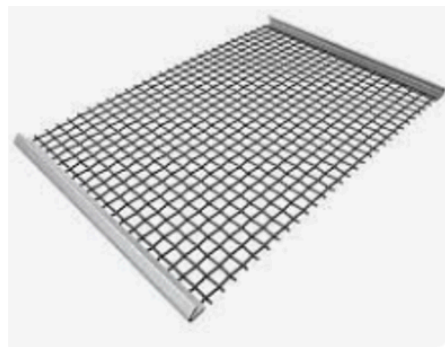
Si la malla es de sección rectangular, dependiendo de la proporción largo/ancho, l/a se aplicará un factor distinto.

Figura 44.

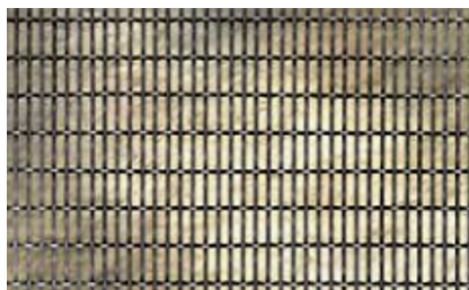
Tipos de mallas según aberturas.



Malla abertura redonda



Malla de abertura cuadrada



Malla de abertura rectangular

Figura 45.

Tabla de factor de abertura.

Tipo de Abertura		Factor de abertura (f_m)
Cuadrada		1.0
Redonda		0.8
Rectangular l = largo a = ancho	2 < l/a < 3	1.15
	3 < l/a < 6	1.20
	l/a > 6	1.25

Nota: Tabla de factor por abertura de malla, tema 6 selección por tamaños, página 6-53

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Factor de Presencia de Lajas l_l

Se consideran lasaj a aquellas partículas cuya longitud es del orden de 3 veces cualquiera de sus otras dos dimensiones, alto o ancho. (Ver figura 46.)

Figura 46.

Grava triturada.



La presencia de lajas cuya ancho esté entre 1,0 y 1,5 veces la luz de la malla l_m dificultan el cribado, por lo que, esto debe ser considerado al momento de corregir la capacidad. (Ver figura 47.)

Figura 47.

Factor de lajas.

% Lajas	Factor de corrección (f_i)
< 5	1.00
10	0.95
20	0.85
30	0.80
40	0.75
50	0.70
60	0.65
70	0.60
80	0.55

Nota: Tabla de factor de lajosidad, tema 6 selección por tamaños, página 6-54.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

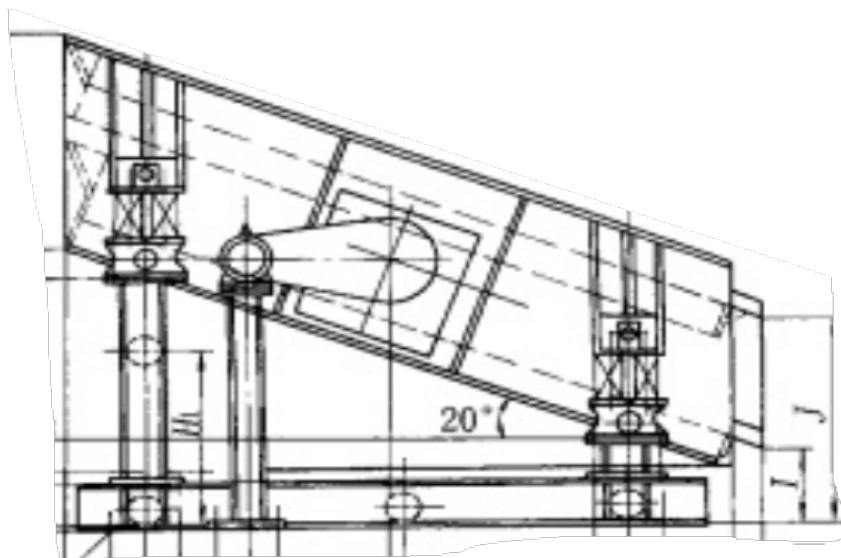
Las partículas al caer sobre la criba debido a su componente de avance horizontal describen una parábola, lo que significa que los paños inferiores no son aprovechados en toda su longitud, por lo que, la superficie efectiva de cribado es menor a medida que la malla está colocada en las posiciones más inferiores. Consecuentemente, hay que aplicar un factor corrección f_p en función de la posición del paño de cribado.

Factor de Angulo de Inclinación de la Criba f_i

Para cribados medios y gruesos se emplean cribas inclinadas, siendo la inclinación normal 20° , aunque en algunas cribas puede ajustarse dicha inclinación disminuyendo ésta para cortes más finos y aumentando para cortes más gruesos.

Figura 48.

Criba inclinada de 20°



Nota: Tomada de Jimpeng Minería, plano de criba inclinada.

<https://m.jimpengmineria.com/product-YA-criba-vibratoria-circular-67.html>

Los cálculos de la capacidad básica han sido hechos en cribas inclinadas a 20°, por lo cual, el factor a aplicar en ese caso sería $f_i = 1,00$. En otros casos, habrá que aplicar un factor según lo indicado a continuación en la tabla 6.

Tabla 6.

Aplicación de factor según el grado de inclinación.

Ángulo de Inclinación de la Criba	f_i
20°	1,00
15°	0,96
10°	0,94
5°	0,87
Cribas Horizontales	0,83

Factor de Área Libre de Paso f_o

Los cálculos de la capacidad básica han sido realizados con mallas de alambre de acero, de trabajo “básico”, es decir, con un diámetro de hilo medio de acuerdo con la luz de la malla, lo que da una superficie libre de paso determinada.

Existen numerosas calidades de mallas y generalizando se podría resumir que hay tres modelos básicos:

- Fina
- Medio
- Gruesa

Las mallas de tipo ligero son construidas con un hilo más fino del normal, lo que supone que presentan una mayor superficie libre, pero en contra poseen una vida inferior por resistir peor el desgaste. Por el contrario, las mallas de tipo pesado se construyen con hilo más grueso, poseen menor superficie libre y resisten mejor el desgaste. Podría establecerse que la capacidad de cribado es directamente proporcional a la superficie libre.

Dando esto por supuesto, al momento de calcular la superficie de cribado necesaria debería tenerse en cuenta la superficie libre considerada en el cálculo y la real a instalar con base en el tipo y material de malla empleada, corrigiendo la superficie proporcionalmente a la diferencia entre las áreas libres según el tipo de malla empleada.

La superficie libre considerada en el cálculo propuesto al inicio ha sido del 50%, mientras que las mallas industriales varían entre el 30% y 75% de superficie libre; por ello se debe tomar en cuenta el factor de área libre de paso, (según figura 49.)

Figura 49.Factor de área libre de paso f_o

Superficie Libre %	Factor (f_o)
25	0.50
30	0.60
35	0.70
40	0.80
45	0.90
50	1.00
55	1.10
60	1.20
65	1.30
70	1.40
75	1.50

Nota: Tabla de factor de área libre, tema 6 selección por tamaños, página 6-56.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

Como aproximación, se indican a continuación las superficies libres de paso f_o para mallas de alambre de acero y de poliuretano de luz cuadrada, de diferentes luces l_m .⁴

⁴ <https://www.concretonline.com/canteras-graveras/calculo-de-la-superficie-de-cribado>

Figura 50.

Área libre en mallas.

ÁREA LIBRE EN MALLAS								
L_m (mm)		0,50	0,63	1,00	1,25	2,00	3,15	4,00
Superficie	Acero	35	37	38	38	44	44	45
Libre %	PU	10	12	18	20	20	37	38
L_m (mm)		5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
Superficie	Acero	49	50	56	57	60	61	61
Libre %	PU	39	41	43	45	46	47	48
L_m (mm)		31,5	40	50	63	80	100	120
Superficie	Acero	64	68	71	72	73	75	75
Libre %	PU	47	45	44	41	41	43	43

Nota: Tomado de artículo “Cálculo de superficie de cribado”, ERAL, EQUIPOS Y PROCESOS, S.A. Autor: Juan Luis Bouso.

<https://www.concretonline.com/canteras-graveras/calculo-de-la-superficie-de-cribado>

Existen mallas de nuevo diseño con fijación por tensión transversal en hilo de *PU*; especialmente diseñadas para cribados finos. Se debe consultar al fabricante de mallas para conocer los valores exactos del área libre de paso, pues esta varía con la calidad de la malla, diámetro del hilo y espesor de la malla. El tipo de malla depende del trabajo en particular, tamaño máximo de partícula, número de horas de trabajo y abrasión del producto.⁵

5 “Cálculo de la superficie de cribado”; Juan Luis BOUSO; ERAL Equipos y Procesos S.A.

<https://es.scribd.com/document/318877848/Calculo-Superficie-de-Cribado>

Ancho de la Criba A_m

Independientemente del cálculo de la superficie necesaria, la criba debe tener un ancho mínimo para que la capa de material no tenga un espesor elevado que impida la posibilidad de que las diferentes partículas tengan acceso a la malla (ver figura 48). También puede calcularse el ancho mínimo de una criba, con base al espesor máximo de capa sobre la malla, considerando el rechazo o fracción gruesa, que es el material que forma la capa sobre la malla en el extremo de salida y la velocidad media de avance de las partículas en una criba vibrante convencional.

Figura 51.

Anchura mínima de criba.

Tabla 6.13	
Anchura de criba mm	Tonelaje de Alimentación (ton/h)
600	75
900	175
1200	275
1500	350
1800	500
2100	650
2400	750

Nota: Tabla de factor de área libre, tema 6 selección por tamaños, página 6-57

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14197857/capacidad-de-una-criba-ocw-upct>

El espesor de capa está relacionado con la luz de la malla es normalmente de 2 a 4 veces la luz l_m , aunque conviene cotejar el valor calculado con el tamaño máximo de partícula, pues el espesor de capa no puede nunca ser inferior al tamaño máximo.

La velocidad de avance varía dependiendo del tipo de criba, pero suele estar entre (20 y 40) m/min .

El ancho mínimo de la criba se puede expresar de la siguiente manera:

$$A_m = 116 \left\{ \frac{T * R}{m * f_d} \right\}$$

A_m = Ancho mínimo de la criba expresado en mm

T = Tonelas de alimentación expresado en $\frac{T}{h}$

R = Porcentaje de rechazo expresado en decimal

m = Luz de la malla expresada en mm

F_d = Factor de densidad sin unidades

Sistemas de Lavado de los Agregados

Los materiales requeridos para la fabricación de hormigón o concreto asfáltico requieren que los materiales estén limpios, libres de arcillas, limos y residuos vegetales, para lograr esto se poseen varias opciones dependiendo del tipo de planta que se esté usando y muy importante la disponibilidad del recurso hídrico disponible. A continuación. se mencionarán los métodos más comunes usados en la industria de la molienda.

Lavado en la criba

El lavado en criba se usa para eliminar materiales arcillosos, arenas y limos naturales adheridos a los materiales gruesos.

Consiste en la aplicación de chorros de agua a través de boquillas de pulverización, de manera que se forma una cortina de agua bajo presión dirigida hacia el material con el fin de eliminar los materiales no deseados. Las arenas desechadas se pueden pasar por lavadores de tornillo u otros equipos decantadores para eliminar impurezas obteniendo una arena de excelente calidad.

Figura 52.

Sistema de lavado de áridos en criba



Nota: Tomado de “Manual de Cribado y Clasificación”; Ángel García de la Cal.

La cantidad de agua que se requiere va de 1,0 a 1,5 veces el volumen pasado por la criba; es decir, si están pasando $50 \text{ m}^3/\text{h}$ de material se necesitarán entre $(50 - 75) \text{ m}^3/\text{h}$ de agua, es decir $(50000 - 75000) \text{ lts}/\text{h}$ y a una presión no mayor 20 *PSI*.

A su vez, el sistema de lavado está formado por un conjunto de tubos de metal de 38 *mm* o más de diámetro y conectados a sistemas flexibles para que no se rompan con los movimientos bruscos de la criba.

Cada tubo tiene unas boquillas colocadas a 30 *cm* una de la otra y un tapón en el extremo opuesto a la entrada. Los tubos se colocan perpendicular al flujo del material separados 50 *cm* aproximadamente uno del otro.

Tornillos Lavadores de Arena

Los tornillos lavadores son las máquinas más comunes para esta actividad. Los separadores de arena proporcionan un alto grado de recuperación a un bajo costo de operación. Estos equipos, además de consumir poca energía, poseen un costo de mantenimiento muy bajo.

El tornillo lavador se alimenta de la mezcla de arena con agua proveniente de la criba producto del lavado. El material entra en la parte trasera del dispositivo y lentamente va subiendo, por la acción de rotación del tornillo sinfín hasta salir por la parte superior. La velocidad de rotación es de aproximadamente una revolución por minuto y se puede aumentar si la carga aumenta. A estas máquinas se le inyecta agua a presión por la parte inferior de la caja. El caudal y la presión del agua que se le aplica va en función del tamaño de las partículas que se quieren eliminar, a mayor caudal y presión mayor es el tamaño de grano que se elimina. El agua contaminada con limos disueltos sale por la parte superior trasera y de ahí se desvía a pozos de sedimentación para darle tratamiento, nunca se envía directamente a los ríos.

Figura 53.

Tornillo Lavador de arena.



Nota: Tomado de www.mclanahan.com ; tornillos lavadores para material fino.

Ruedas de cangilones o Norias lavadoras de arena

El sistema es muy similar al del tornillo lavador de arena, solo que el agua entra por gravedad. La arena entra por la parte trasera de la caja y por peso se acumula en el fondo de la

caja. Al girar la rueda con cangilones recoge del fondo el material y al subir el agua junto con el material que se quiere desechar escurre por una malla o tamiz que tiene cada cangilón con la abertura necesaria para eliminar el material fino no deseado en el producto final.

Figura 54.

Lavador de arena de cangilones.



Nota: Tomado de www.constmach.com, sistemas de lavado de arena.

Al pasar del punto muerto superior al punto muerto inferior, la rueda empieza a descender hasta descargar el material limpio y sin agua fuera de la caja, ahí es recogido por una banda transportadora para su posterior apilamiento. Esta rueda gira a 2 RPM. El agua contaminada se deposita en fosas de sedimentación para, posteriormente, enviarla al río. Son sistemas muy eficientes, económicos y de fácil instalación.

Lavadores para agregado grueso

Cuando se requiera usar agregados de alta calidad, libres de polvo y arcillas, es necesario lavar. Una forma de hacerlo es usando estos agitadores de doble eje. El proceso consiste en introducir agua en el sentido opuesto al flujo del material, posteriormente, se introduce el material que se quiere lavar. Al girar, las paletas que van acopladas a los ejes friccionan el

material y lo golpean, de esta forma eliminan todas las impurezas que se encuentran adheridas a las caras del material. Estos equipos se instalan con una inclinación de aproximadamente 10°, el material es movido hacia la descarga por la acción de las paletas y el agua con los limos salen por la parte inferior hacia las fosas de sedimentación. En el mercado, se encuentran equipos con capacidades que van desde 5 a 200 $\frac{Ton}{Hora}$.

Figura 55.

Sistema de lavado de agregado grueso.



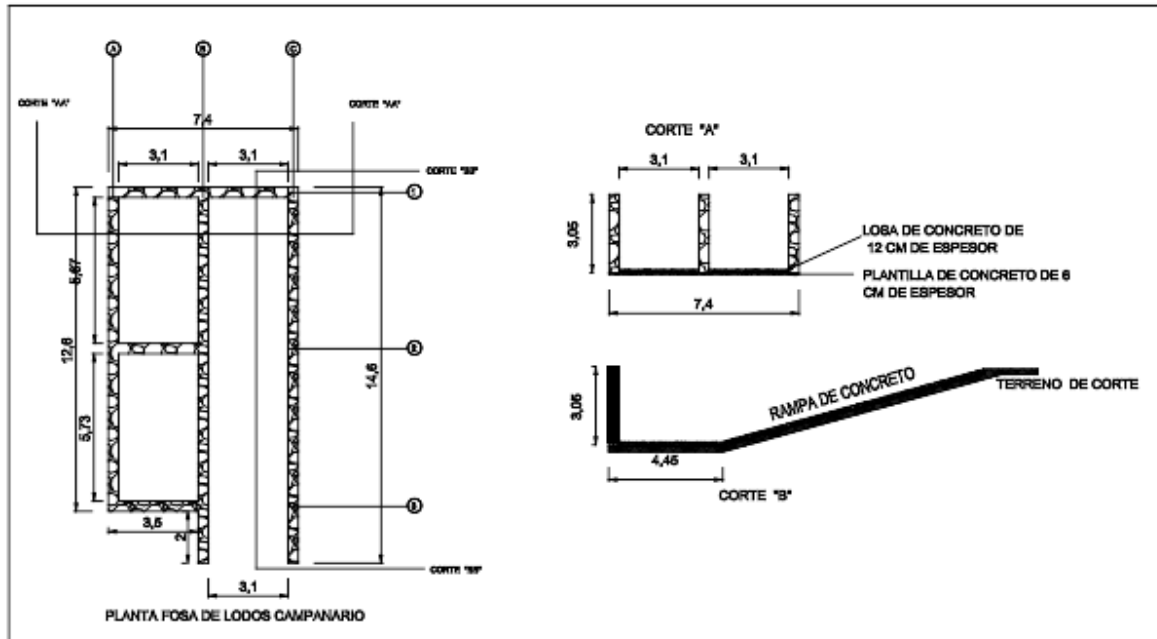
Nota: Adaptado de manual de trituración y cribado de Metso Minerals, 2008.

Pilas de Recolección de Lodos

Después de lavar los materiales, es obligatorio darles tratamiento a las aguas usadas en el lavado antes de que se incorporen a los ríos, para esto se propone un diseño de pilas de recolección de lodos que se encargará de separar las impurezas del agua que se va a incorporar al río haciendo que ésta esté lo más limpia posible.

Figura 56.

Plano de pila de recolección de lodos.



Nota: Adaptado de https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/fosa-de-lodos-para-planta-de-asfalto_131310/

Diseño de la Planta Trituradora.

Una vez descritas y analizadas las principales actividades que se llevan a cabo en una planta de procesamiento de áridos, conociendo además las principales características del agregado que se va a procesar se va a iniciar con el diseño de la planta.

Primera Fase.

Para iniciar se debe conocer las propiedades físicas y químicas del material de alimentación, a saber:

- Granulometría.
- Dureza.

- Contenido y tipo de impurezas.
- Densidad entre otros.

Estos factores indicarán qué tipo de alimentadores y primarios se deben proponer en esta etapa.

Segunda Fase

Por lo general, se usan los conos giratorios, su uso es bueno con roca abrasiva o blanda y el producto final es de aceptable calidad.

Tercera Fase

Aquí hay más posibilidades de escoger equipos que satisfagan las necesidades solicitadas.

- Impactadores de eje vertical (VSI) para materiales duros.
- Impactadores de eje horizontal (HSI) para materiales suaves.
- Conos giratorios para ambos materiales.

El tamaño máximo de alimentación es el factor que limita el uso de estas trituradoras de impacto (verticales y horizontales) y es el cono giratorio el que lleva ventaja al procesar rocas de más tamaño. Además, por lo general, trabajan muy bien con cualquier tipo de material.

Para diseñar una planta trituradora de agregados se debe conocer lo siguiente:

- Características físicas y químicas de los materiales a procesar.
- Tipo de fuente a explotar (Río o Cantera).
- Viabilidad de la fuente.
- Permisos de explotación.

- Estudios de impacto ambiental.
- Mercado para el producto final.

Diagramas de Flujo de Plantas Trituradoras⁶ (Ver apéndice 1)

Apéndice 2 Diagramas de flujo

Teniendo claro lo anterior, se pasará a mostrar algunos diagramas de flujo hechos con el programa “Bruno”⁷ de Metso Mineral. Este programa permite la simulación de circuitos de trituración y clasificación de minerales mediante un diagrama que refleja las toneladas producidas en las diferentes gradaciones a partir de las toneladas, la granulometría y la dureza del material proveniente de la fuente. Con este simulador es fácil y rápido hacer modificaciones en el circuito y obtener resultados precisos al instante, solo basta con ingresar los datos de los equipos que están involucrados en el proceso y las características de la roca para obtener las toneladas esperadas de cada producto.

Planta de dos etapas: normalmente usada para producir agregados para una planta de asfalto. La capacidad es de 150 *Ton/h*.

Equipos involucrados:

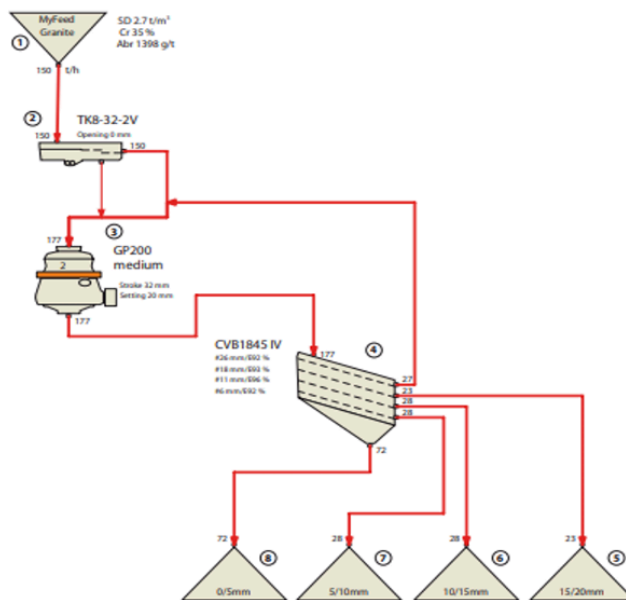
⁶ Diagramas de flujo tomados de “Manual de Trituración y Cribado”, Metso Minerals, Tercera Edición.

⁷ Bruno Simulation Software es un software de Shareware en la categoría de Miscellaneous desarrollado por [Metso Minerals \(Tampere\) Oy](http://www.metso.com).

- Alimentador vibratorio.
- Cono giratorio.
- Criba de cuatro paños.

Figura 57.

Diagrama de planta de 150 Ton/h



Planta de trituración de tres etapas: todos los productos producidos con conos giratorio.

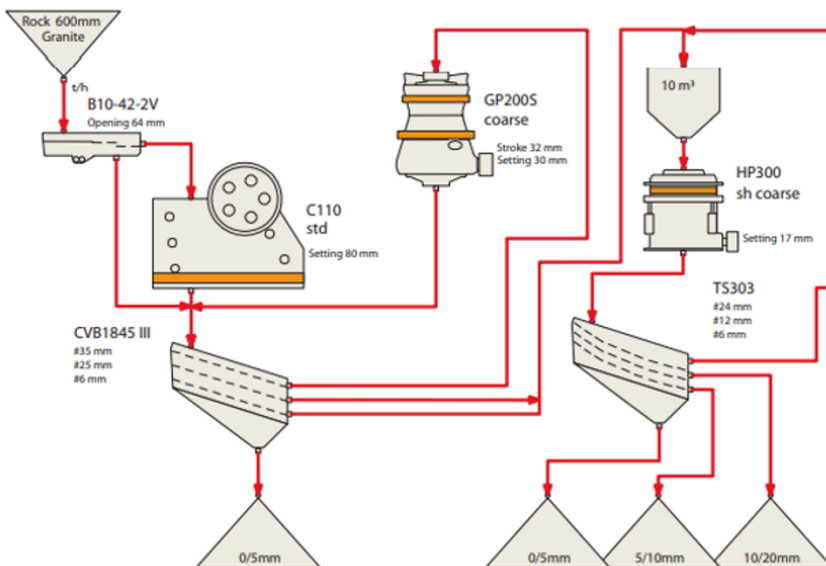
Equipos involucrados:

- Alimentador vibratorio.
- Primario de mandíbulas.
- Criba primaria.
- Cono giratorio para gruesos.

- Cono giratorio Para finos (Short Head).
- Criba secundaria.

Figura 58.

Diagrama de planta de trituración de 3 etapas



Planta de trituración de agregados para hormigón: capacidad de 330 Ton/h

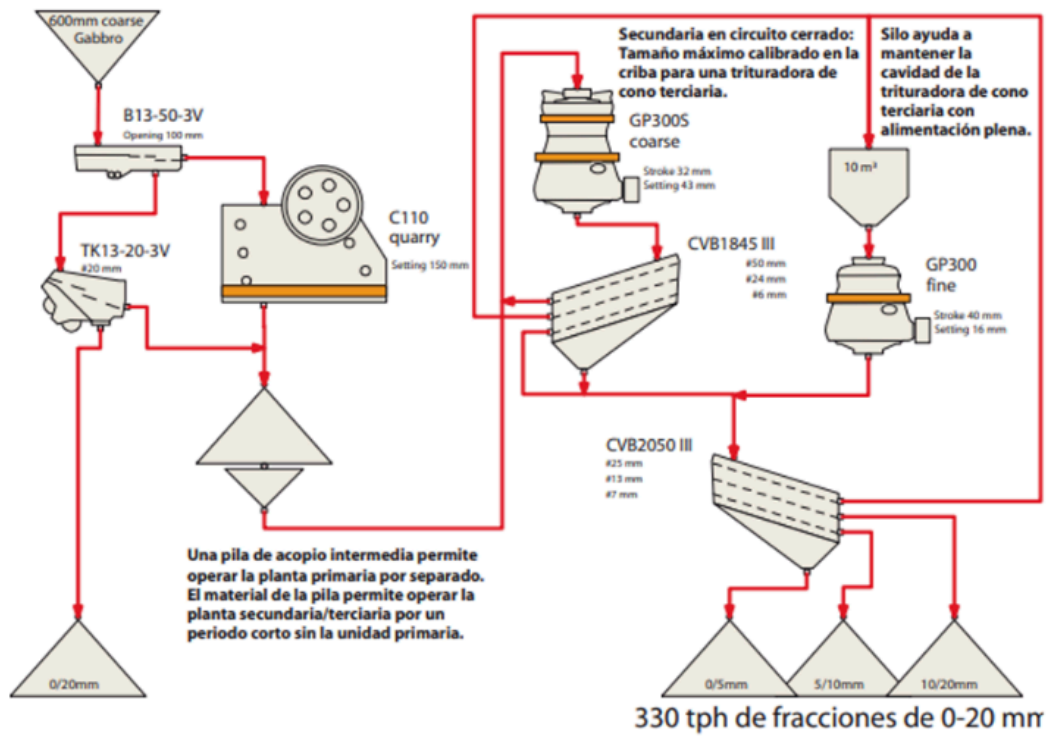
Equipos involucrados:

- Alimentador vibratorio.
- Scalper.
- Primario de mandíbulas.
- Pila de almacenamiento.
- Cono giratorio.

- Pila de almacenamiento.
- Cono giratorio para gruesos.
- Criba secundaria.
- Tolva de alimentación.
- Cono giratorio como terciarios.
- Criba terciaria.

Figura 60.

Diagrama de planta de trituración para agregados de asfalto.



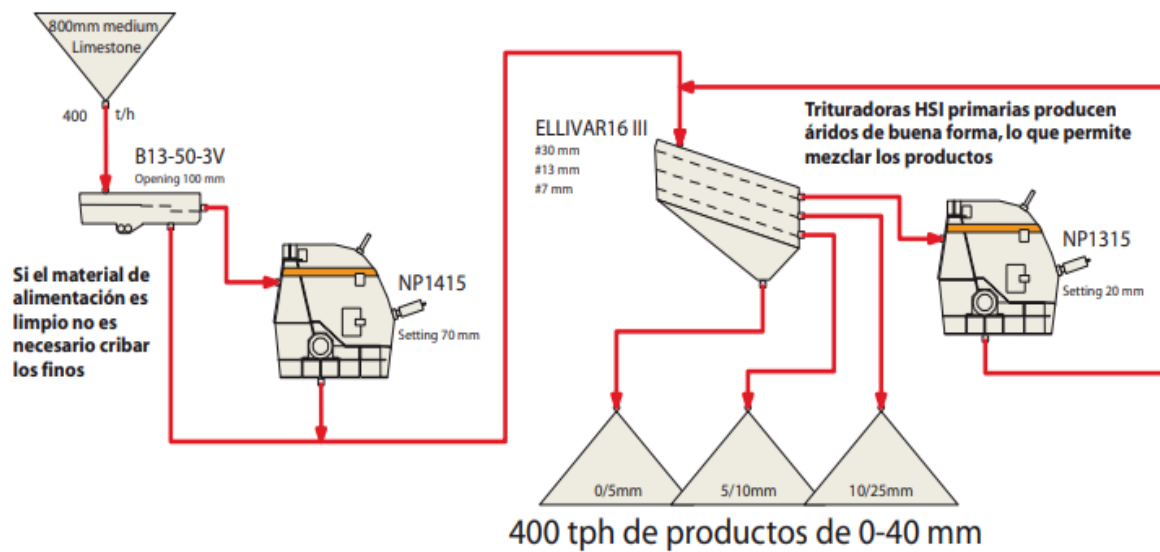
Planta de trituración para agregados de piedra caliza.

Equipos involucrados:

- Alimentador vibratorio.
- Impactor de eje horizontal como primario.
- Criba primaria.
- Impactor de eje horizontal como secundario.

Figura 61.

Diagrama de planta de agregados de piedra caliza.



Capítulo 3. Marco Metodológico

Enfoque de la investigación.

En la tesis, se aborda la instalación de una planta trituradora de piedra en el cantón de Desamparados para garantizar el suministro constante de materiales requeridos en la construcción y mantenimiento de la red vial del cantón. Además, esta investigación implica comprender no solo los aspectos técnicos de la instalación de la planta trituradora, también se analizarán los contextos sociales, económicos y ambientales de forma documental que rodean esta decisión. Por lo que, se puede afirmar que esta investigación posee un enfoque Cualitativo.

Método de la Investigación

En este caso, la propuesta de diseño de investigación se fundamenta en procedimientos y técnicas ordenadas que priorizan la recopilación de información de forma documental. Por consiguiente, no se aplicarán instrumentos de recopilación de datos similares a encuestas o cuestionarios. Esta decisión se basa en la premisa de que la información existente en documentos, informes, libros y otros recursos proporcionará el contexto necesario y la base de datos requerida para abordar la pregunta de investigación de manera exhaustiva y rigurosa.

Fuentes de información.

En el caso de esta propuesta, las fuentes de información son documentos, informes y libros tomados de fabricantes de equipos de trituración, principalmente de METSO MINERALS⁸ que en su sitio web proporciona bibliografía especializada en equipos de trituración, y otros recursos tomados de revistas electrónicas y recopilación de información en periódicos electrónicos. En conjunto con los más de 20 años experiencia profesional del autor como gerente

⁸ <https://www.metso.com/insights/aggregates/?purpose&sort&q=&page=2>

del área de producción de agregados en una empresa constructora, atendiendo proyectos en Sur América y Centro America, se suman las consultas personales a profesionales con conocimiento amplio de los procesos de trituración con los que durante toda su etapa profesional el autor ha interactuado para la solución de problemas presentados en el día a día de sus labores; haciendo mención a:

- Msc. Oldemar Meneses, Gerente Global de producto de tecnologías de trituración por impacto y para producción de arenas manufacturadas en METSO MINERALS.
- Ing. Saúl Zamora, Gerente de Calidad de Agregados en Constructora MECO .
- Ing. Darrel Sequeira, Propietario de SEOR Servicios de Trituración en Nicaragua; y Asistente del autor durante una etapa profesional.

Unidades de Análisis.

Según Álvarez y Armentia (2004):

Las categorías de análisis se definen como unidades de codificación que representan conceptos o temas relevantes dentro de los datos analizados. Estas categorías se utilizan para organizar, clasificar y dar sentido a los datos recopilados en una investigación cualitativa, especialmente en el contexto del análisis de contenido.

Los autores explican que las categorías de análisis pueden ser predefinidas, es decir, establecidas antes de la recopilación de datos o pueden emerger durante el proceso de análisis en respuesta a los patrones identificados en los datos. Estas categorías pueden ser simples o complejas y, además, su desarrollo requiere un proceso sistemático de codificación y revisión de los datos para garantizar su validez y fiabilidad.

Las categorías de análisis que se han considerado en este trabajo son:

1. Justificación de la instalación de la planta trituradora:

- Beneficios económicos para la municipalidad y habitantes del cantón de Desamparados.
- Impacto en la calidad de la red vial del cantón.
- Necesidades de suministro de materiales en la construcción y mantenimiento de carreteras.

2. Descripción de equipos utilizados:

- Características técnicas de los equipos.
- Funcionalidad de los equipos en el proceso de producción de agregados.
- Comparación de los diferentes tipos de equipos disponibles en el mercado.

3. Evaluación de equipos para la producción de agregados pétreos:

- Eficiencia de los equipos en el procesamiento de materiales.
- Capacidad de procesamiento de los equipos en relación con la demanda de materiales.
- Adaptabilidad de los equipos a las condiciones locales y materiales proporcionados por los ríos.

4. Localización de una fuente de material adecuada:

- Características físicas y químicas requeridas para la producción de agregados.
- Disponibilidad y accesibilidad de las fuentes de material.
- Evaluación de la idoneidad de la fuente de material en función de las necesidades de la planta trituradora.

Instrumentos

En este caso la propuesta de diseño de investigación se fundamenta en la recopilación de información de forma documental. También se hicieron conversatorios con colegas especialistas en el tema para reforzar la propuesta de diseño planteada. Ambos instrumentos nos dan la información necesaria que proporcionará para abordar la pregunta de investigación de una manera rigurosa.

Proceso para recolección y análisis de datos

Este proyecto de investigación se fundamenta en la recolección de información técnica de diferentes fuentes para que nos brinden la mejor alternativa para escoger y sugerir los equipos adecuados para la planta de trituración propuesta.

El estudio previo a la selección de las máquinas empieza de la siguiente manera:

- ✓ Análisis granulométrico del material de la fuente.
- ✓ Caracterización del material.

Los anteriores ensayos de laboratorio fueron realizados por el laboratorio de materiales CACISA.

- ✓ Granulometría de los materiales finales.

Una vez conocidas estas propiedades y con ayuda de manuales técnicos buscamos las opciones en marca y tipo de equipos que puedan darnos el producto final requerido. En esta selección previa de equipos se define el número de Fases que va a tener nuestro diseño. En el caso en estudio después de haber consultado la bibliografía necesaria y haber realizado la mejor selección se hace uso de un simulador para ver el desempeño de la planta como un todo y además nos da información del desempeño individual de cada una de las máquinas escogidas.

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Diseño de la Planta Trituradora Propuesta Para la Municipalidad de Desamparados.

Existen en el mercado muchas marcas de equipos para trituración de roca cuyas funciones son similares. Debido a la familiarización que existe entre el autor y la reconocida marca de Metso Minerals, el diseño se hará con la información de estos equipos.

Descripción de la Planta.

La planta propuesta tiene una capacidad de producción de $200 \text{ Ton}/\text{Hr}$, equivalente a $125 \text{ m}^3/\text{Hr}$ obteniendo los siguientes productos:

Tabla 7.

Producción esperada

Tipo de material y producción esperada				
Material	Granulometría	Porcentaje	Ton/hr	m^3/hr
Piedra 3/4"	13 / 19 mm	15	30	18,75
Piedra 1/2"	6,3 / 13 mm	19	38	23,75
Arena triturada	0 / 6,3 mm	38	76	47,5
Arena canto rodado	0 / 6,3 mm	28	56	35,0

Definición de la Planta

Para esta producción y la calidad del agregado esperado se hará una planta de tres etapas, es decir:

- Primario
- Secundario
- Terciario

En este punto es necesario conocer el tipo de fuente que va a proveer la materia prima para la trituración, es primordial conocer todas las características físicas y químicas del material porque este va a ser el punto de partida en la selección del tipo y tamaño de las máquinas. Dentro de los parámetros importantes a analizar se tiene:

- Granulometría (Tamaño máximo)
- Dureza
- Contenido y tipo de impurezas
- Densidad etc.

Siendo uno de los objetivos minimizar los riesgos de inundaciones y como acción para contrarrestar este efecto es el dragado de los ríos, por tanto se utilizaría dicho material para el abastecimiento de la planta de trituración; en julio 2024 se realizó un ensayo de análisis granulométrico con la empresa CACISA, en el río Cañas tomando la muestra en San Rafael Arriba de Desamparados, los resultados arrojan (Ver Apéndice 1) que se puede obtener un material 100% pasante en el tamiz de los 700mm. Con este resultado se definirán los equipos que tengan la capacidad para procesar material con un tamaño máximo de 700mm para la obtención

de los siguientes productos finales, grava de 1/2"-3/4", grava 1/4"-1/2", arena 0"-1/4", material lavado de 0"-1/4".

Definición de los Equipos

Los equipos para este diseño de planta trituradora son los siguientes:

1. Alimentador vibratorio *HREF4620-1V*
2. Primario *C110*
3. Criba Húmeda Metso *Modelo TS2.2 de dos paños.*
4. Tolva de homogenización y estabilización del proceso, opcional.
5. Cono giratorio de secundario Metso *HP300 estándar medio*
6. Criba de la fase secundaria Metso *Modelo TS3,3 de tres paños.*
7. Compuerta mezcladora
8. Separador de basura Aquamator As Modelo Aquamator AS 4000/1600/280
9. Tornillo Lavador 44"X33' a 9 *Rev/min* con 320 *Gal/min* de agua y 88 *Ton/h* de capacidad
10. Tolva de homogenización y estabilización del proceso, opcional
11. Impactor vertical Barmac B7150SE
12. Criba del terciario Metso *Modelo TS3.3 de tres paños.*
13. Compuerta mezcladora
14. Separador magnético Dings para banda de 36".

Una vez concluida la elección de los equipos descritos anteriormente, se procederá a la verificación de estos en un simulador para ver cuál es el comportamiento de la planta propuesta y si cumple con las producciones esperadas. Este simulador es una herramienta que posee la reconocida marca Metso Minerals para analizar el comportamiento de la planta y de los equipos de producción, el nombre del simulador es BRUNO⁹ y en el país el representante de la marca es Matra¹⁰.

Este software nos permite antes de hacer la inversión económica, verificar que los equipos propuestos estén de acuerdo en cuanto al tamaño del material a procesar, producción esperada y la calidad del producto final.

Selección de las Máquinas

Alimentador

Por las condiciones del material que se va a procesar se ha decidido recomendar un alimentador vibratorio con rejilla, este tipo de alimentador resulta útil dado que además de proveer de material al primario elimina parte de los finos naturales y rocas pequeñas que por su tamaño no requieren ser pasadas por la unidad primaria..

El alimentador seleccionado posee las siguientes especificaciones:

- Modelo HREF4620-1V

9 Bruno Simulation Software es un software de Shareware en la categoría de Miscellaneous desarrollado por [Metso Minerals \(Tampere\) Oy](#).

<https://civilnode.com/download-software/10124345656449/metso-bruno-simulation-4108>

10 www.matra.co.cr

- Ancho 1010 mm
- Largo 5200 mm
- Tamaño máximo de alimentación de 700 mm
- Potencia 15 KW.

Figura 62.

Alimentador Grizzly Modelo HREF4620-1V



Nota: Tomado de www.metsominels.com Brochure N° 0852-04-03, Nordberg HR-Eliptex (HREF) Feeder.

Criba lateral

Cálculo de la criba lateral del primario

Se va a calcular la superficie de cribado necesaria para clasificar a 6,3 mm en húmedo 66 T/h de material natural con granulometría de 0 / 100 mm que contiene 15% de partículas mayores a 6,3 mm y 50 % de partículas inferiores a 3,15 mm, se requiere una eficiencia de 94%. La criba es inclinada dos pisos con malla D19mm en el

primer paño y $D6.3mm$ en el segundo paño con el fin de recuperar los finos buenos provenientes del río y, además lavar los agregados de rechazo para enviarlos a la segunda fase limpios. A continuación, la tabla 7 muestra el cálculo para la selección de la criba de la primera fase.

Tabla 7.

Cálculo de Factores Criba N°1

CRIBA NÚMERO 1				
CRIBA LATERAL DEL PRIMARIO				
Cálculo de factores				
Descripción	Núm. De Tabla	Condición	Factor	Valor
<i>Densidad Aparente</i>		1,7/1,6	f_d	1,06
<i>Rechazo</i>		15%	f_r	,04
<i>Semitamaño</i>		50%	f_s	1,20
<i>Eficiencia</i>		94%	f_e	1,00
<i>Cribado Húmedo</i>		6,3mm	f_a	2,25
<i>Tipo de Malla</i>		Cuadrada	f_m	1,00
<i>Posición de la Malla</i>		Primero	f_p	1,00
<i>Tipo de Criba</i>		Horizontal	f_i	0,85
<i>Superficie Libre</i>		50/50	f_o	1,00
		Factor Total	f_t	2,53
<i>Capacidad Básica</i>		Natural	B	10,8
<i>Capacidad Básica Corregida</i>		$B * f_t$	BC	27,36
Alimentación de la Criba Lateral				
<i>Pasante por el Grissly del Primario</i>				40,00
<i>Pasante de 6,3mm de la Criba #2</i>				14,62
<i>Total de Toneladas de Alimentación a Criba #1.</i>				54,62
Cálculo de Superficie de Cribado				
<i>Superficie de Cribado</i>		Ton. Alm./BC	S	1,98
<i>Superficie de Cribado Corregida</i>		$FS = 1,4$	$S_{Corregida}$	2,76

Como se ha dicho antes, la relación entre ancho y largo de las cribas es del orden de 1: 3 lo que indica que la criba a utilizar¹¹, con base en las toneladas de alimentación y ubicación dentro del proceso es la que responde a las especificaciones:

- *Modelo HF1236*
- *Ancho 1524 mm*
- *Largo 4876,8 mm*
- *Capacidad (400) T/h*

Figura 63.

Criba HF-1236



11 https://www.toromontcat.com/docs/default-source/default-document-library/optiflo_range_eng.pdf

Diseño del sistema de riego.

Según lo visto en párrafos anteriores, se necesita aproximadamente (1 – 1,5) m^3/h de agua para lavar una Tonelada procesada, esto lleva a considerar un volumen de agua requerido de $72.5m^3$ de agua. Para cubrir el ancho de la criba se instalarán cuatro difusores de 7 mm de diámetro que darán una aspersion de 400 mm a 200 mm del piso de la malla y una presión de 150 Kpa. (Ver Figura 61). Cada difusor da un caudal $2,88 m^3/h$, requiriendo un caudal de aproximadamente $11,52 m^3/h$, con este dato se debe instalar 7 líneas de tubos colocadas cada 50 cm para completar el volumen indicado.

Figura 64.

Tabla de selección de difusores de agua de poliuretano.

DIFUSORES AGUA DE POLIURETANO									
Diámetro Difusor (mm)	Caudal (m^3/h) A diferentes presiones (kPa)						Anchura chorro (mm) Presión 150 kPa		
							Altura sobre malla (mm)		
	50	100	150	200	300	400	200	300	400
4	0,42	0,72	1,02	1,20	1,50	1,74	300	400	450
5	0,48	0,84	1,14	1,26	1,56	2,34	350	450	500
7	1,08	1,38	1,74	1,98	2,46	3,00	400	500	700
9	1,50	2,46	2,88	3,00	3,12	3,24	500	600	800

Nota: Tomado de <https://www.concretonline.com/canteras-graveras/calculo-de-la-superficie-de-cribado>

Lavador de arena

Debido al arrastre de gran cantidad de limos y arcillas que arrastran los ríos en estudio hemos decidido instalar un equipo para eliminar todas estas impurezas, se va a usar un tornillo lavador modelo 44"X33'¹² con las siguientes características:

Velocidad de rotación 9 *RPM*

Consumo de agua requerido 72500 *Lts/h*

Las aguas residuales se envían por una tubería abierta de fácil limpieza a las pilas de sedimentación y una vez limpias se envían al río o se reciclan.

Triturador Primario

Teniendo el alimentador adecuado para la granulometría se debe buscar un primario que sea capaz de recibir y procesar las toneladas de material suministradas. El Primario C110 cumple con la abertura de alimentación que es de 700 *mm*¹³, se ve que este equipo da una producción de 134 *ton/hr* con una abertura del primario del lado cerrado de 75 *mm* y un producto final de 0 a 120 *mm*¹⁴ a una capacidad del 75%.

12 Tomado de “Manual de Trituración y Cribado” , Metso Minerals, Tercera Edición, Página 5-2

13 Seleccionado en Tabla 3-1. Tamaños de alimentación máximos recomendados, Trituradoras de Mandíbula de la Serie C Nordberg, <https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=15>

14 Tabla de Capacidades y Especificaciones Técnicas, “Manual de Trituración y Cribado” , Metso Minerals, Tercera Edición, Página 3-12

Separador Magnético

Con el propósito de evitar que los metales que vengan junto al material de trituración se vayan a la unidad secundaria se instalará un separador magnético con banda de 36 pul.. Este dispositivo consta de un potente electroimán que atrae todas las partículas metálicas que pueden ir en la piedra y por medio de la banda las saca fuera de la línea de producción.

Tolva de Homogenización

Como se mencionó párrafos atrás, la mejor calidad del producto en cuanto a caras fracturadas se logra con las máquinas trabajando cerca del 100% de su capacidad máxima, para lograr esto se instala esta tolva que garantizará una alimentación constante en el circuito.

Figura 65.

Tolva de homogenización



Nota: Tomado de <https://www.metso.com/es/portafolio/chutes/>

Trituración Secundaria (Segunda Fase)

Por las características físicas de los materiales de estos ríos es recomendable usar los conos giratorios, estos equipos son aptos para materiales duros y de tamaños superiores a los 50 mm, el producto final es de forma aceptable. El cono que se recomienda debe procesar

233 *Ton/h* y eso se logra con un cono *HP300* con una configuración de mantos estándar medio trabajando a una capacidad del 87% y una abertura en el lado cerrado de 25 *mm*.

Es importante comentar que esta familia de conos puede trabajar con diferentes configuraciones de mantos o forros para tener diferentes granulometrías, con mantos para gruesos o extra gruesos, se denominan estándar y si se usan las configuraciones medias, finas o extrafinas puede trabajar como terciario y se le llama cabeza corta.

Cálculo de la criba de la segunda fase

Se va a calcular la superficie de cribado necesaria para clasificar en seco 243 *Ton/h* de material triturado a 38 *mm* y 6,3 *mm* con la siguiente granulometría:

> 38 *mm*; 31 *Ton*

28*mm* – 38*mm*; 42 *Ton*

6,3*mm* – 28*mm*; 123 *Ton*

< 6,6*mm*; 46*Ton*

Se requiere una eficiencia de 94 %. La criba es inclinada de tres paños con malla superior D_{38} , en el piso el piso intermedio una malla D_{28} y en el último piso una malla $D_{6,3}$. Cabe mencionar que los finos producidos por el cono se envían a la criba uno para ser lavados a la criba lateral.

Tabla 8.

Cálculo de Factores Criba N°2

CRIBA NÚMERO 2				
CRIBA DEL CONO SECUNDARIO				
Cálculo de factores				
Descripción	Núm. De Tabla	Condición	Factor	Valor
<i>Densidad Aparente</i>		1,7/1,6	f_d	1,06
<i>Rechazo</i>		15%	f_r	1,00
<i>Semitamaño</i>		50%	f_s	1,20
<i>Eficiencia</i>		94%	f_e	1,00
<i>Cribado seco</i>		6,3mm	f_a	1,04
<i>Tipo de Malla</i>		Cuadrada	f_m	1,00
<i>Posición de la Malla</i>		Tercera	f_p	0,90
<i>Tipo de Criba</i>		Inclinada 20°	f_i	1,00
<i>Superficie Libre</i>		50/50	f_o	0,91
		Factor Total	f_t	1,08
<i>Capacidad Básica</i>		Natural	B	33,3
<i>Capacidad Básica Corregida</i>		$B * f_t$	BC	35,96
Alimentación de la Criba #2				
<i>Toneladas pasadas por el Cono del primario</i>				134,00
<i>Toneladas pasadas por el cono de la criba #1 y la criba #2</i>				98,00
<i>Total de Toneladas de Alimentación a Criba #2.</i>				232,00
Cálculo de Superficie de Cribad				
<i>Superficie de Cribado</i>		Ton. Alim./BC	S	6,45
<i>Superficie de Cribado Corregida</i>		$FS = 1,4$	$S_{Corregida}$	9,03

Como se ha dicho antes, la relación entre ancho y largo de las cribas es del orden de 1: 2,5 lo que indica que la criba a usar mediría 6 pies de ancho por 20 pies de largo¹⁵. Una fórmula empírica para calcular el ancho de la criba es la siguiente:

$$A_{mts} = \frac{Q}{3.6 * v * d} + 0,15$$

A_{mts} = Ancho de la criba a elegir

Q = Material que pasa por la criba en m^3/h ,

$$Q = 232 \frac{Ton}{hr} / 1,6 \frac{Ton}{m^3} \quad Q = 145,0 m^3/hr$$

v = Velocidad de transporte de material en m/s ¹⁶

$$v = 20 \frac{m}{min} / 60 \frac{seg}{1 min}$$

$$v = 0,33 \frac{m}{seg}$$

d = Espesor de la capa de material

El espesor de la capa de material sobre la malla debe ser mínimo dos veces el tamaño máximo y no mayor de cuatro veces el tamaño máximo, en este caso:

15 Tabla de selección de criba, basada en el cálculo de “área activa de la superficie de cribado”; tomado de Manual de Trituración y Cribado”, Metso Minerals, Tercera Edición, Página 4-18.

16 Ver tala de “Velocidad de Transporte de Material”, “Manual de Trituración y Cribado”, Metso Minerals, Tercera Edición, Página 4-19

$$d = 2 \times 38mm$$

$$d = 76 mm$$

Resolviendo la ecuación se obtiene:

$$A = \frac{145,0}{3,6 * 0,33 * 76} + 0,15$$

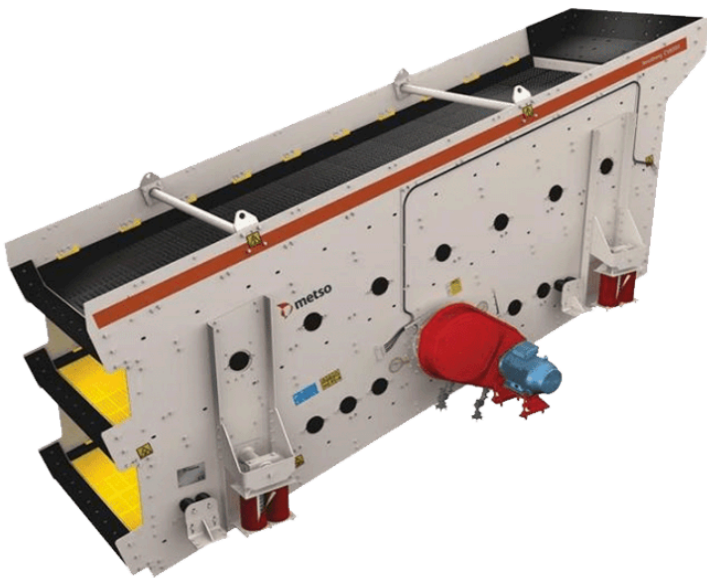
$$A = 1,76 m$$

$$A = 5,8 pies$$

Con lo anterior, se verifica las medidas de una criba de 6×20 pies, esto da que el caudal de toneladas que se pueden procesar con este ancho es de $250 m^3$ y con base en este caudal se selecciona la criba *Modelo TS3.3*

Figura 66.

Criba Metso *Modelo TS3.3*



Nota: Tomado de <https://www.galadaringthe.com/product/compact-cvb-series-inclined-screens/>

Separador de Basura

Debido a la gran cantidad de material de basura que contienen los ríos en estudio se ha decidido instalar antes de la tercera fase un dispositivo que se encargara de sacar de la línea de producción todo aquello que afecte la calidad del producto final. Este dispositivo se encargará de extraer plásticos, maderas y material vegetal antes de que entre a la tercera y última fase. Se ha inclinado por instalar un Separador de Basura AquamatorAs 4000/1600/280.

Figura 67.

Separador de Basura AquamatorAs 4000/1600/280.



Nota: Tomado de “*Wet processing for the aggregate industry Nordberg solutions*”,
Metso Minerals, Brochure No. 1537-02-03-CSR/Mâcon-French

También en esta Fase se va a instalar sobre la banda de alimentación del terciario otro electroimán para proteger el terciario de algún metal que no haya sido detectado por el primero. Se usará un electroimán marca Dings para banda de 36 pul.

Tercera fase

Selección del terciario

Como ya se sabe, para obtener estos materiales se poseen dos opciones que son:

- Conos giratorios cabeza corta
- Impactores verticales

En este diseño vamos a escoger un Impactor vertical, esto porque se quiere un producto que garantice buena calidad en cuanto a cubicidad y homogeneidad. Como se dijo líneas atrás, es importante que los equipos trabajen a plena carga para garantizar un buen funcionamiento y obtener una buena granulometría en el producto final. Para esto se instalará una tolva de alimentación de $15m^3$ de capacidad.

El impactor que se debe utilizar¹⁷ teniendo en cuenta la producción del secundario de 186 Ton/h , es un *B7150 SE* cuya producción será de 144 Ton/h y con las siguientes características:

Modelo *B7150 SE*

Diámetro del rotor 840 mm

Potencia $400hp$

¹⁷ Tabla de Especificaciones Técnicas-Barmac Serie B VSI, “Manual de Trituración y Cribado”, Metso Minerals, Tercera Edición, Página 3-56

Cálculo de la criba de la tercera fase

Esta criba es la última de la planta, en ella se seleccionan los productos finales que serán usados en la fabricación de mezclas asfálticas y hormigón. Como se puede ver en la configuración de la planta, los agregados finales están libres de cualquier contaminación. Todos están hechos de piedra sólida sin presencia de arcillas o limos que puedan afectar su calidad, solo resta comprobar mediante pruebas de laboratorio que la calidad del agregado cumpla con todas las características exigidas por las normas de construcción usadas en el país.

Datos de la criba de la tercera fase.

Tabla 9.

Cálculo de factores de criba del N°3.

CRIBA NÚMERO 3				
CRIBA DEL Terciario				
Cálculo de factores				
Descripción	Núm. De Tabla	Condición	Factor	Valor
<i>Densidad Aparente</i>		1,7/1,6	f_a	1,06
<i>Rechazo</i>		15%	f_r	1,08
<i>Semitamaño</i>		50%	f_s	1,20
<i>Eficiencia</i>		94%	f_e	1,00
<i>Cribado seco</i>		6,3mm	f_a	1,16
<i>Tipo de Malla</i>		Cuadrada	f_m	1,00
<i>Posición de la Malla</i>		Segundo	f_p	1,00
<i>Tipo de Criba</i>		Inclinada 20°	f_i	1,00
<i>Superficie Libre</i>		50/50	f_o	0,91
		Factor Total	f_t	1,45
<i>Capacidad Básica</i>		Natural	B	21,3
<i>Capacidad Básica Corregida</i>		$B * f_t$	BC	30,88
Alimentación de la Criba #3				
<i>Toneladas de alimentación del Impactor</i>				144,00
<i>Toneladas de alimentación de la criba #3</i>				42,00
Total de Toneladas de Alimentación a Criba #2.				186,00
Cálculo de Superficie de Cribado				
<i>Superficie de Cribado</i>		Ton. Alim./BC	S	6,02
<i>Superficie de Cribado Corregida</i>		$FS = 1,4$	$S_{Corregida}$	8,43

Con el dato anterior de *Área Activa de* $8,43 \text{ m}^2$ se tiene que se requiere una criba de 6 pies por 20 pies¹⁸, al igual que en la etapa secundaria, se utilizará una criba modelo CVB2060-3.

Se puede usar la fórmula empírica:

$$A_{mts} = \frac{Q}{3.6 * v * d} + 0,15$$

$$Q = 116,25 \text{ m}^3$$

$$v = 0,33 \text{ m/Seg}$$

$$d = 3 * 19 = 57 \text{ mm}$$

$$A = 1,87 \text{ m}$$

$$A = 6,12 \text{ pies}$$

Bandas Transportadoras

A continuación, se va a tratar el tema de las cintas transportadoras, en este apartado no se va a entrar en detalle puesto que en la web hay demasiada información de fabricantes de este tipo de artículos. Si se va a recomendar el largo, ancho y velocidad de cada uno, para esto se apoyará en el programa de Metso Minerals mencionado capítulos atrás y es BRUNO, de estos se toman todos los largos y con base en las toneladas que cada uno mueve se le dará la potencia y velocidad requerida.

¹⁸ Tabla de selección de criba, basada en el cálculo de “área activa de la superficie de cribado”; tomado de *Manual de Trituración y Cribado*, Metso Minerals, Tercera Edición, Página 4-18.

Figura 68.

Banda transportadora Metso.

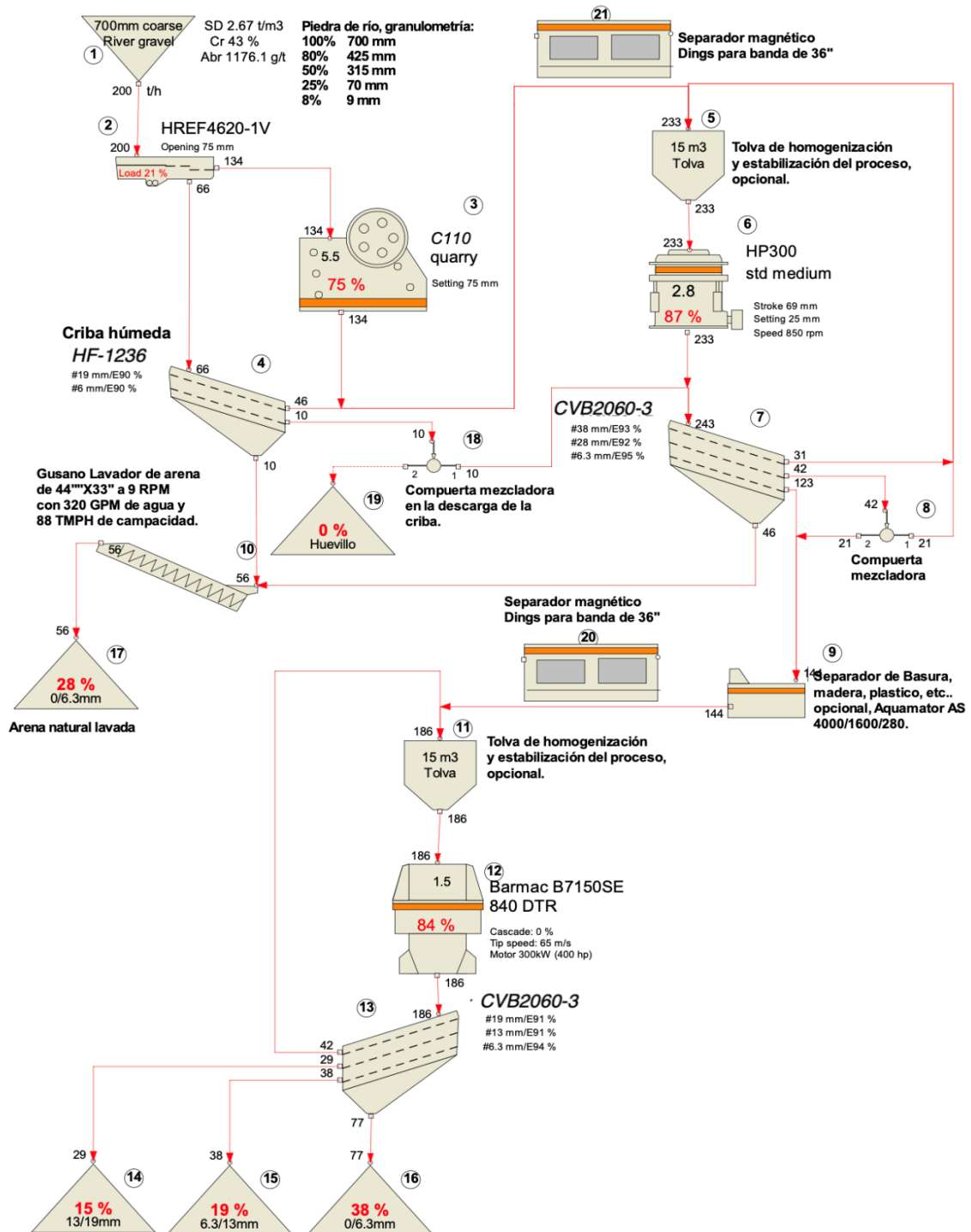


Nota: Tomado de <https://www.metso.com/portfolio/nordtrack-cw-series/nordtrack-cw85-mobile-conveyor/>

Diagrama de flujo de planta de trituración.

A continuación, se presenta el diagrama de la planta de trituración que se propone para este proyecto; la simulación de la producción se realizó en el software BRUNO de Metso Minerals.

Figura 69. Diagrama de flujo de planta de trituración agregados en cantón de Desamparados.



Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

1. La implementación de una planta trituradora de piedra emerge como una necesidad de dragar los ríos de la zona para disminuir las constantes inundaciones que se dan en la época de lluvias. El proceso de dragado nos da la posibilidad de usar el material extraído como materia prima para la planta trituradora y así tener agregados a bajo costo para la fabricación de mezcla asfáltica requerida para el mantenimiento vial del cantón.
2. La planta propuesta tiene una capacidad de 200 *Ton/Hr* y consta del siguiente equipo:

Tabla 10.

Equipos Recomendados Para Planta de Trituración de Desamparados

Equipos Recomendados Para Planta de Trituración de Desamparados			
Cant.	Descripción	Cant.	Descripción
1	Triturador de Mandíbulas	2	Separadores Magneticos
3	Cribas Vibratorias Inclinadas	1	Separador de Basura
1	Impactor Vertical (VSI)	1	Triturador de Cono Giratorio
1	Alimentador Vibratorio	1	Fosa de Recolección de lodos

La selección de los equipos y su ubicación fue avalada por el simulador de Metso Minerals (BRUNO) dando por realizado el diseño de forma satisfactoria. de construcción y reparación de carreteras de manera eficiente y efectiva.

3. La instalación de la planta trituradora tendrá un efecto positivo en el sector social, se presentan impactos de carácter positivo en la generación de empleo, lo que se representa

en el mejoramiento del nivel de vida de la población de la región. El proyecto también influirá indirectamente en los centros de consumo donde el material extraído en el río se utilizará para obras de infraestructura, carreteras y otros tipos de construcciones que generan empleos indirectos.

4. Esta obra también va a contribuir a la construcción y mejoramiento de vías que servirán para mejorar la comunicación entre las poblaciones beneficiando el intercambio de productos y un crecimiento económico de toda la región.
5. En cuanto a la afectación ambiental tenemos alteraciones en los siguientes elementos:
 - Aire: el aire propaga el ruido, transporta elementos sólidos particulados producidos por los procesos de extracción, transporte y trituración. Al dejar de traer agregados de Guápiles a San José se estaría contribuyendo a reducir las emanaciones de Dióxido de Carbono a la atmósfera.
 - Agua: el agua recibe y transporta los sólidos en suspensión o elementos contaminantes líquido-sólidos.
 - Suelo: el suelo recibe restos de hidrocarburos producto del uso de equipos que lo consumen.
 - Fauna y vegetación: estos elementos van a sufrir trastornos tanto en el río como en el ecosistema donde se instalará la planta trituradora. El despeje de maleza en ambos lugares va a obligar a la fauna a emigrar del lugar no teniendo espacios cerca donde ubicarse.

Recomendaciones

- Implementar medidas de gestión ambiental adecuadas para mitigar y minimizar el impacto ambiental asociado con la operación de la planta trituradora de piedra.
- Establecer procedimientos operativos y protocolos de monitoreo para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire y minimizar los impactos en las comunidades circundantes.
- Incorporar medidas de conservación de la biodiversidad y protección de los ecosistemas locales en el diseño y la operación de la planta trituradora.

Referencias.

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2013). *Diseño de Investigación: Cualitativo, Cuantitativo y Mixto*. México: Editorial Pearson Educación.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación (6th ed.)*. México: McGraw-Hill Education.
- Álvarez, J. T., & Armentia, J. I. (2004). *Análisis de contenido: Perspectivas teóricas y metodológicas*. Editorial Síntesis.
- Eloranta, J. (2008). *Manual de trituracion y cribado*. Metso Expect results.
- Metso Minerals. 2003. *Trituradoras de mandibula de la serie c nordberg*.
<https://dokumen.tips/documents/manualinstrucciones-chancadora-c100.html?page=1>
- Metso Screening Media, Handbook Version 1.4 2017.09
- Wet processing for the aggregate industry Nordberg solutions, Metso Minerals. Brochure No. 1537-02-03-CSR/Mâcon-French
- Desenvolupament Sostenible. Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible. (2022). *Causas que provocan inundaciones*.
<https://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-7-riesgo-de-inundaciones/3-7-4-causas-que-provocan-las-inundaciones>.
- Comision Nacional de Emergencia. (11 de mayo de 2016). *Amenazas naturales Canton de Desamparados*.
https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/mapas_de_ameaza/san_jose/Desamparados%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf

- McInahan. (S.F.). *Tipos de Alimentadores y Sus Aplicaciones*.
- Rodríguez, N. (2020). *Scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/473167433/EQUIPO-PARA-PRODUCCION-DE-AGREGADOS>
- Cordero, P. (Septiembre de 2022). *Semanario Universidad, País*. Obtenido de <https://semanariouniversidad.com/pais/desamparados-es-el-segundo-canton-con-mas-desastres-registrados-en-los-ultimos-50-anos/>
- E, A. B. (S.F.). Obtenido de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/7._trituracion.pdf
- Eiranova, M. Z. (2012). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de https://oa.upm.es/14978/1/PFC_Miguel_Zurita_Eiranova.pdf
- Metso. (2011). *Matra Costa Rica*. Obtenido de https://www.matra.co.cr/content/wp-content/uploads/2016/11/Impactor_vertical_BARMAC.pdf
- Martínez-Pagán, P. (2011). *Universidad Politécnica de Cartagena* . Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf
- Metso. (2008). *Manual de Trituración y Cribado*.
- Blanco, E. A. (2014). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/7._trituracion.pdf
- Metso. (2024). *Metso Minerals*. Obtenido de <https://www.metso.com/es/portafolio/alimentadores-grizzly>

Apéndices

Apéndice A. Informe de Ensayo de Granulometría



INFORME DE ENSAYO
CR-LAB-SR-2024-4430
Fecha Emisión: 13 de julio del 2024



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Empresa: Sr. Marcos Monge Monge
Dirección: San José
Dirigido a: Sr. Marcos Monge Monge

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL

Número de muestra asignado: 24/6760
Proyecto: Control Calidad de Agregado Grueso
Lugar de muestreo: San Rafael arriba de Desamparados
Fuente del material: Río Cañas
Descripción de la muestra: Material de Extracción del Río Cañas, TM 700 mm
Fecha de muestreo: Junio del 2024
Método de muestreo utilizado: Muestreo de Agregados (AASHTO R 90, ASTM D 75M) *
Fecha de recepción: Junio del 2024
Lugar de realización de los ensayos: Laboratorio Central Cacisa

FIRMA DE APROBACIÓN

Ing. Salvador Velásquez
 Supervisor de Laboratorio

cc: Archivo,

*ENSAYO ACREDITADO, ** ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en www.eca.or.cr
 Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte
 E-mail: info@cacisa.cr Página web: www.cacisa.cr Apartado: 1621-1100

Página 1 de 4

F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

RESULTADOS

Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso (AASHTO T27, ASTM C136) *					
Tamiz	Porcentaje pasando (%)				
	Resultado	Inferior	Superior	Incertidumbre	Cumplimiento
>700 mm	100	NA	NA	0,0034	NA
700mm - 425 mm	80	NA	NA	0,0048	NA
425 mm - 315 mm	50	NA	NA	0,0058	NA
315 mm - 70 mm	25	NA	NA	0,0067	NA
70 mm - 9 mm	8	NA	NA	0,0067	NA
9 mm - 0	3	NA	NA	0,0075	NA

Gravedad específica y absorción del agregado grueso (AASHTO T85) *		
Ensayos	Resultados	Incertidumbre
Gravedad específica bruta	2,648	0,00041
Gravedad de superficie saturada seca	2,678	0,00033
Absorción (%)	1,44	0,0059

Pérdida por abrasión, Tipo 3, (ASTM C535, AASHTO T96) *					
Ensayos	Resultados	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
		Inferior	Superior		
Porcentaje de pérdida (%)	20,3	-----	50	0,0031	Cumple

*ENSAYO ACREDITADO, ** ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en www.eca.or.cr

Página 2 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte
E-mail: info@cacisa.cr Página web: www.cacisa.cr Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

Pérdida por sanidad con sulfato de sodio (AASHTO T104, ASTM C88) *										
Agregado Grueso										
Tamices		Masa inicial (g)	% Retenido (graduación)	Pérdida (%)	Pérdida corregida (%)	Pérdida Total (%)	Especificación		Incertidumbre (±)	Cumplimiento
Pasando	Retenido						Inferior	Superior		
63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	3100	0	0,0	0	7	-	15	0,010	Cumple
50 mm (2 in)	37,5 mm (1 1/2 in)	2010								
37,5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	1004,5	80	9,2	7,3					
25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	500,2								
19 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	0	0	0,0	0					
12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	0								
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N°4)	0	0	0,0	0,0					

Nota: Para la realización del ensayo se emplea solución recién preparada

*ENSAYO ACREDITADO, ** ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en www.eca.or.cr

Página 3 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte
E-mail: info@cacisa.cr Página web: www.cacisa.cr Apartado: 1621-1100



INFORME DE ENSAYO CR-LAB-SR-2024-430



ACLARACIONES

1. *Los resultados que se presentaron anteriormente, se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas realizadas en campo y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.*
2. *No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA, así mismo no es válido sin la firma de autorización respectiva*
3. *Si la información o muestras son aportadas por el cliente, los resultados son únicamente aplicables a la muestra suministrada.*
4. *Se exime de toda responsabilidad al laboratorio, cuando el cliente proporcione información que pueda afectar la validez de los resultados.*
5. *Siempre que se reporta la incertidumbre expandida, se declara como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por un factor de cobertura $k=2$ que corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95 %.*
6. *Cuando se requiera declarar la conformidad de los resultados, se tomará como regla de decisión lo siguiente: "sí al menos un 50% del valor de la medición (resultado +/- incertidumbre) se encuentra entre lo especificado se da conformidad de aceptación, caso contrario se declara incumplimiento con la especificación". Cuando el cliente no la aporte, esta será la regla de decisión a utilizar.*
7. *El plan de muestreo utilizado sigue la metodología descrita en el documento PT-LAB-31 Plan de Muestreo.*
8. *Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a calidad@cacisa.cr*

----- Última Línea -----

*ENSAYO ACREDITADO, ** ENSAYO NO ACREDITADO: Ver alcance en www.eca.or.cr

Página 4 de 4

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros oeste y 500 metros norte
E-mail: info@cacisa.cr Página web: www.cacisa.cr Apartado: 1621-1100



F-LAB-24-1 F.E. 03/12/20 Rev. 9

Apendice B.

Mallas o tamices

Como se ha dicho antes, la función de las cribas vibratorias consiste en la separación de materiales en fracciones de tamaños, de modo que se evita la contaminación excesiva de una fracción con partículas de otra fracción, este trabajo se lleva a cabo mediante tamices o mallas que se colocan sobre la superficie de la criba. Estos tamices son de diferentes formas y materiales que más adelante se analizarán.

Todos forman una matriz con espacios simétricos de una misma medida. Las más comunes son las siguientes:

Tratamiento térmico al alto carbono:

- Mallas de alambre

Tratamiento térmico en aceite:

- Mallas sintéticas
- Placas perforadas

Figura B1.

Criba con mallas de alambre. Tomado de (Emilio Andrea Blanco)

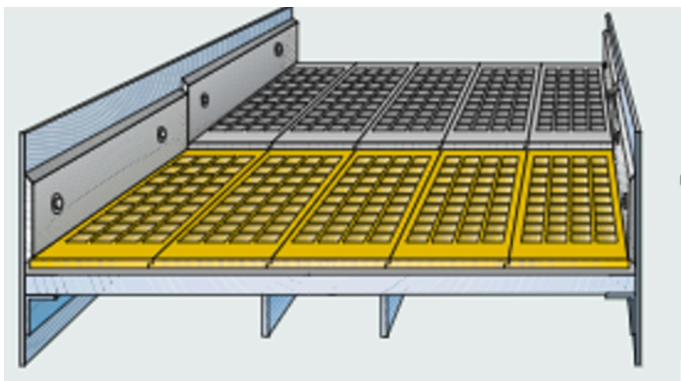
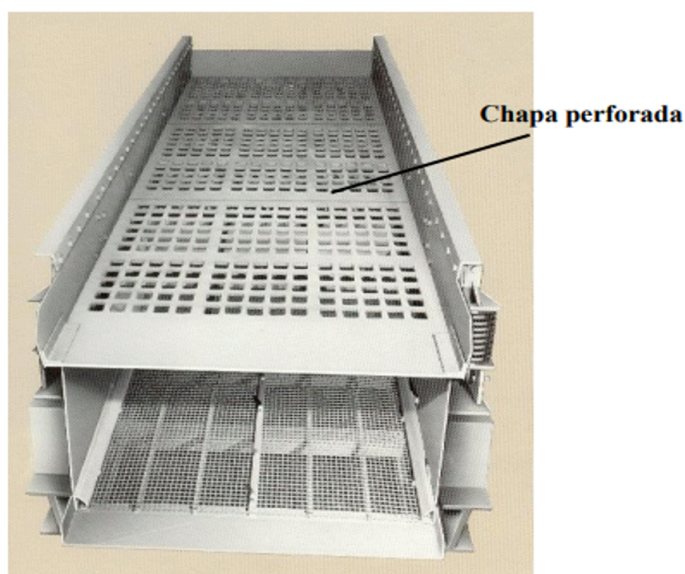
**Figura B2.** Criba con mallas sintéticas.

Figura B3.

Criba con placas perforadas



En el cribado, existe una serie de factores, los cuales determinarán que esta operación se produzca de una manera eficiente; es decir, la velocidad con la que las partículas de dimensiones adecuadas sean capaces de atravesar la superficie de cribado. La siguiente tabla muestra los principales factores que afectan el cribado.

Figura B4.

Cálculo del par de cribado para una malla cuadrada de alambre

Factores que afectan el cribado de agregados	Revisar peso del material	Revisar abertura de la malla	Revisar el tipo de malla	Revisar área de cribado	Revisar ángulo de inclinación	Verificar pesos de las excéntricas	Verificar velocidad de rotación	Verificar sentido de giro	Revisar humedad del material
Las mallas se rompen	x	x							
Material de sobre tamaño contaminado		x	x					x	x
Espesor de la capa de material muy gruesa		x	x	x	x	x	x	x	
Velocidad material lento				x	x	x	x		
La criba no tiene fuerza para vibrar					x	x			
Las mallas se tapan con material fino					x	x			x

Figura B5. Superficie de malla



Si se tiene una malla con las medidas mostradas en la figura anterior., el número de orificios horizontales sería:

$$Hh = \frac{1}{a + d}$$

Donde:

a = Longitud horizontal del orificio

d = Diámetro del alambre

De esta misma figura el número de orificios verticales sería:

$$Hv = \frac{1}{b + d}$$

Donde:

a = Longitud vertical del orificio

d = Diámetro del alambre

El número total de orificios en la malla estaría dado por:

$$\#_{orificios} = (Hh)(Hv)$$

$$\#_{orificios} = \left(\frac{1}{a+d}\right)\left(\frac{1}{b+d}\right)$$

Por lo general, las mallas son de orificios cuadrados, esto quiere decir que:

$$a = b$$

De lo anterior, se deduce que el número de orificios o huecos en una malla es inversamente proporcional al cuadrado de la abertura de los huecos más el diámetro del alambre.

$$\#_{orificios} = \left(\frac{1}{(a+d)^2}\right)$$

De la ecuación anterior se concluye que el área efectiva de cribado es:

$$(a+d)^2$$

Ahora bien, para calcular el volumen de material que pasa por la malla por unidad de tiempo y tomando las consideraciones del ejemplo anterior, se tiene que:

$$(a) = (b)$$

También, se considerará que las partículas que atraviesan la malla son cúbicas, esto quiere decir que la altura de dicha partícula será igual a los uno de los lados del orificio; es decir, medirá también (a) , por lo tanto, el volumen de la partícula está dado por la siguiente fórmula:

$$v_{particula} = (a)(a)(a)$$

$$v_{particula} = a^3$$

Con esto se puede definir que la capacidad de una criba es proporcional al volumen total de material que pasa a través de una malla por unidad de tiempo y unidad de superficie de cribado, esto es:

$$v_{Total} = (v_{particula})(\#_{orificios})(Por\ unidad\ de\ tiempo)$$

$$v_{Total} = (a^3) \left(\frac{1}{(a+d)^2} \right) (Por\ unidad\ de\ tiempo)$$

La densidad de cualquier material se expresa de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{P}{v}$$

$$v = \frac{P}{\rho}$$

Suponiendo que se tiene un mismo material, entonces la densidad es constante y es posible sustituir xx en xx, teniendo:

$$\frac{P}{\rho} = (a^3) \left(\frac{1}{(a+d)^2} \right) (Por\ unidad\ de\ tiempo)$$

$$\frac{P}{\rho} = a$$

De la ecuación xx, se obtiene lo siguiente:

$$P = \left((a^3) \left(\frac{1}{(a+d)^2} \right) \right) (\rho) (Por\ unidad\ de\ tiempo)$$

Si se expresa la densidad del material en proceso en:

$$\rho = \frac{Ton}{m^3}$$

De todo lo anterior, se concluye que la capacidad de una criba se puede medir en la cantidad de toneladas por metro cuadrado de material que pasan por la malla por unidad de tiempo.

Sustituyendo xx en xx

$$P = \left(\frac{a^3}{(a + d)^2} \right) (\rho)(Ton)(Unidad\ de\ tiempo)$$

Donde:

P = Peso del material

a = Abertura de malla

d = Diámetro del alambre

ρ = Densidad del material en Toneladas / m³

- Factores de corrección para formas de aberturas que no sean cuadradas

La malla de referencia es siempre la malla cuadrada de dimensión “x”. Sin embargo, se ha visto que la forma de las aberturas puede ser diferente a la cuadrada:

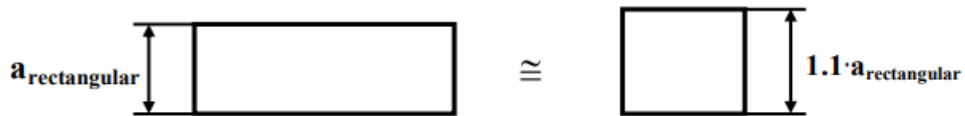
- Aberturas circulares (chapas perforadas)
- Alargadas (chapas perforadas y telas metálicas), etc.

Las aberturas alargadas se pueden tomar como aberturas rectangulares. La conversión de estas formas a la abertura cuadrada de referencia se realiza con los factores siguientes:

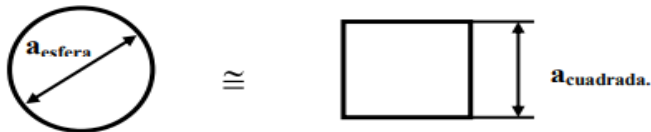
Figura B6.

Factor de corrección para figuras redondas.

$$a_{cuadrada} \cong 1.1 \cdot a_{rectangular}$$



$$a_{esfera} \cong 1.25 \cdot a_{cuadrada}$$

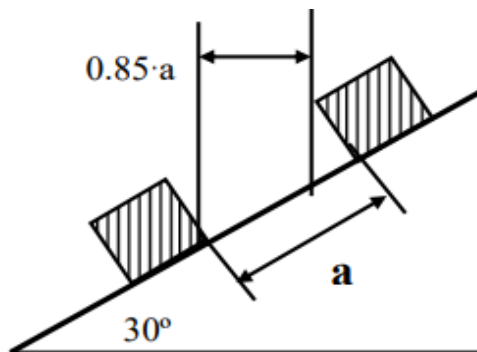


Nota: Tomado de (Emilio Andrea Blanco)

Al aumentar la inclinación de la criba, se disminuye la cantidad de material que debería atravesar la maya. A medida que la inclinación de la criba aumenta, la abertura efectiva disminuye y con ello el tamaño de corte o pasante.

Figura B7.

Efectos de la inclinación sobre la abertura efectiva, Tomado de (Emilio Andrea Blanco)



A partir de ángulos entre 25° y 45°, la abertura efectiva disminuye considerablemente y la probabilidad de que granos con relaciones de $\left(\frac{d}{a}\right)$ cercanas a uno crucen la maya son casi cero. Como ejemplo, se puede en la figura 4 que la abertura efectiva de malla cuadrada de lado “a”, y con una inclinación de 30° es:

$$a' = \cos(a) \cos 30$$

$$a' = 0,866(a)$$

Para obtener una separación bien definida, la abertura de la malla debe ser siempre ligeramente mayor que el tamaño de separación especificado. Las normas ASTM xxxx consideran aceptable que un producto contenga de un 3 % a un 5 % de material con dimensiones ligeramente mayores que las del tamaño especificado. Tomando eso en cuenta, si se desea obtener un producto de 13 mm, la abertura de la malla de la criba tendrá que ser mayor y el producto contendrá un 3 % o un 5 % de partículas con un tamaño ligeramente mayor que 13 mm.

Si se decide usar una abertura de malla igual que el tamaño deseado de 13 mm, el material pasante estará libre de sobre tamaño, pero el material retenido estará altamente contaminado con finos afectando la eficiencia de la criba, lo cual provocará problemas en los circuitos posteriores. A continuación, se muestra una tabla que puede facilitar la selección de la abertura de malla correcta para obtener los productos deseados con una criba vibrante inclinada.

Figura B8.

Tabla para selección de mallas según el producto deseado

Tamaño de producto requerido	Tipos de malla y forma de la abertura			
	Malla metálica cuadrada	Malla metálica rectangular	Malla de goma, metálica cuadrada	Malla de goma, metálica rectangular
mm	mm	mm	mm	mm
2	3	1,5 x 5	4,5	2 x 6
3	4	2 x 6	6	2,5 x 8
4	5	3 x 9	7	4 x 12
5	6,5	4 x 12	8,5	5 x 15
6	8	5 x 15	9,5	6 x 18
8	10	6 x 18	12	8 x 24
10	12,5	8 x 24	14,5	10 x 30
12	15	9,4 x 30	17	12 x 36
14	17	11 x 33	19	14 x 42
16	19	12 x 36	21,5	16,5 x 50
18	21	13,5 x 40	23,5	18,5 x 58
10	23	15 x 45	25,5	21 x 60
22	25	16,5 x 50	27	22 x 65
24	27	18 x 54	31	24 x 70
26	30	19,5 x 60	34	26 x 75
28	32,5	21 x 63	36,5	38 x 85
30	35	22,5 x 70	39	31 x 90
32	37		41	
34	40		44	
36	42		48	
40	46		50	
44	51		55	
48	56		59	
52	60		65	
56	65		70	
60	70		75	
64	75		80	
68	80		85	
72	84		90	
76	88		94	
80	94		100	
84	98		105	
88	103		110	
92	107		115	
100	117		125	

Apéndice C

Cálculo de caudal, presión y número de boquillas en los sistemas de lavado

Por lo general, las boquillas están colocadas a 30 cm una de otra y los tubos poseen una separación aproximada también de 30 cm. El número de boquillas se calcula de la siguiente manera:

$$N_{Boquillas} = \frac{A}{0,3}$$

Donde:

A = Ancho de la criba en metros

0,3 = La distancia entre boquillas

El volumen de agua hacia la criba se define por la siguiente fórmula:

$$V_{Total} = K(Q)$$

Donde:

Q = Cantidad de metros cúbicos que pasan por la criba por hora.

K = Constante que va de 1 a 3 dependiendo de la cantidad de impurezas que tenga el material.

La cantidad de tubos se calcula de la siguiente manera:

$$N_{Tubos} = \frac{V_{Total}}{V_{Tubo}}$$

$$V_{Tubo} = (N_{Boquillas})(V_{Boquillas})$$

Sustituyendo

$$N_{Tubos} = \frac{(K) \left(Q \left(\frac{m^3}{hora} \right) \right) \left(\frac{1 hora}{60 min} \right) \left(\frac{1000 lts}{1 m^3} \right)}{\left(\frac{A}{0,3} \right) (V_{Boquillas})}$$

Donde:

$$V_{Boquillas} = \text{Volumen en } \frac{\text{Litros}}{\text{Minuto}}$$

$$N_{Tubos} = \frac{(5)(K)(Q)}{(A)(V_{Boquillas})}$$

Donde:

K = factor de material, varía de 1 a 3 según el tipo de material.

Q = capacidad de la criba $\left(\frac{m^3}{Hora} \right)$

A = ancho de la criba (m)

$V_{Boquillas}$ = DE la ilustración 1 en $\left(\frac{\text{Litros}}{\text{Minuto}} \right)$

El caudal o volumen de agua consumido ($V_{Boquillas}$) se obtiene del siguiente gráfico. Este volumen está en función de:

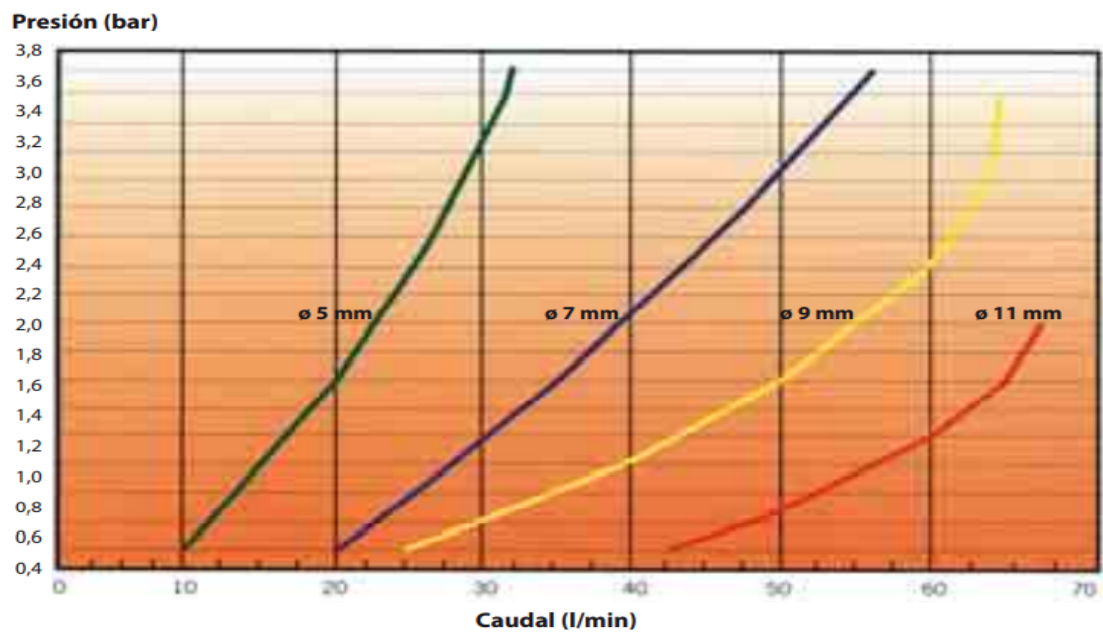
- Diámetro de la boquilla
- Presión del sistema en bares (Medida en la boquilla)
- Caudal en $\left(\frac{\text{Litros}}{\text{Minuto}} \right)$

Figura C1.

Boquillas para un sistema de lavado en una criba

**Figura C2.**

Selección de la bomba para lavado en la criba



Una bomba para agua es un dispositivo mecánico que suministra fuerza para mover el fluido a un caudal específico, su efectividad se mide en potencia (Kw) o caballos de fuerza y su equivalencia es:

$$Hp = 0,746Kw$$

Como se dijo anteriormente, el caudal requerido, el caudal necesario para el lavado en la criba viene dado por:

$$V_{Total} = K(Q)$$

Donde:

Q = Cantidad de metros cúbicos que pasan por la criba por hora.

K = Constante que va de 1 a 3 dependiendo de la cantidad de impurezas que tenga el material.

Cálculo de la presión del sistema

La presión del sistema es igual a la presión en la boquilla más las pérdidas en el sistema y está dada por la siguiente ecuación:

$$P_{Sistema} = P_{Boquilla} + 0,8 + 0,01(a)(L) + 0,1(\Delta h)$$

En esta ecuación, la presión del sistema está dada en atmósferas y los siguientes factores se definen como sigue:

$P_{Boquilla}$ = presión a la salida de la boquilla en atmósferas (bar).

Δh = Diferencia entre la altura de la criba y la fuente de agua en metros.

a = factor de pérdida de presión obtenido de la *figura 49*

L = longitud de la tubería entre la fuente de agua y la criba en metros

Nota:

Para obtener el factor (a), se deben usar el siguiente procedimiento:

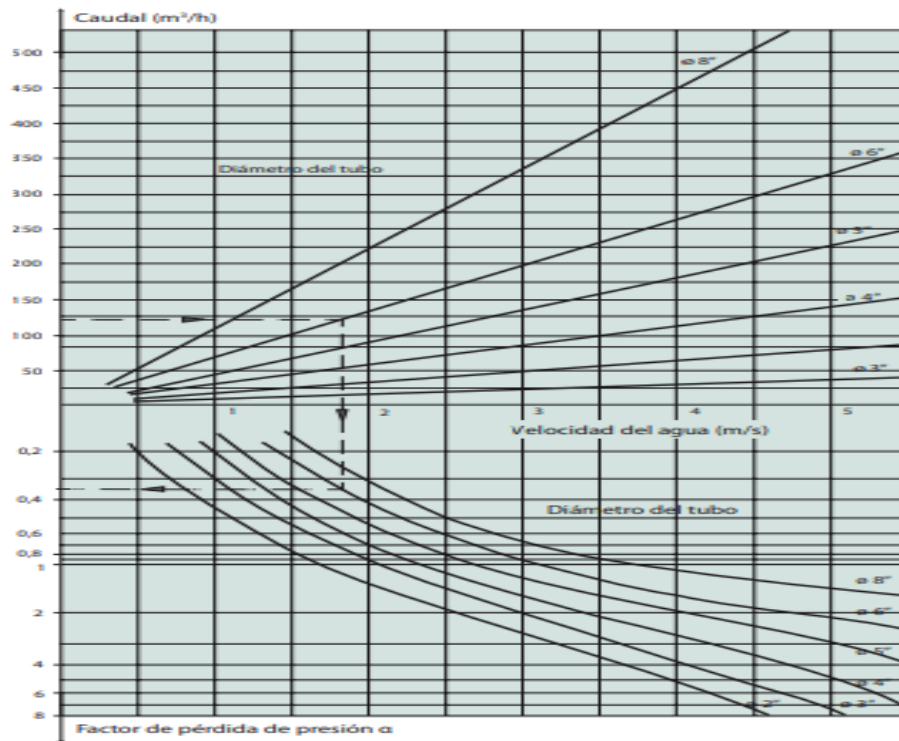
- Después de calcular el caudal (V) se selecciona el diámetro de los tubos teniendo en cuenta los límites de velocidad del agua. A partir de esa velocidad se traza una línea vertical hasta cruzar la curva correspondiente al mismo diámetro en la parte inferior del gráfico y con una horizontal se encuentra el valor de (a).

Para mayor aclaración, siga la flecha en el gráfico

- Las velocidades máximas recomendadas son:
 - Para tubos mayores que 5" de \varnothing 4 m/s
 - Para tubos menores que 5" de \varnothing 2,5 m/s

Figura C3.

Diagrama para cálculo de (a). Tomado de (METSO MINERALS, 2008)



Calculada la presión, es posible buscar la potencia que dé el caudal requerido de la siguiente forma:

$$W_{Bomba} = \frac{(V_{Total})(P_{Sistema})}{27} \text{ (kw)}$$