



CIB-ESPOL

T
621.82
TOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Análisis de los Procesos para Puesta en Funcionamiento para
una Planta de Lavado de Arena"

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Xavier Esteban Toledo Tapia

GUAYAQUIL – ECUADOR



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Año: 2006

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Manuel Helguero S
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Kléber Barcia V.
VOCAL



RESUMEN

CIB-ESPOL

El problema que se presenta en esta tesis consiste en poner en funcionamiento una máquina clasificadora de material pétreo que ha estado sin utilizar por alrededor de quince años, estando todo este tiempo a la intemperie sin ningún tipo de protección.

Esta clasificadora de espiras se desea actualmente dejarla operativa para que funcione como una lavadora de arena, de esta manera se estaría aprovechando una máquina que actualmente se posee y está sin ser productiva y al mismo tiempo el dueño de la misma puede ampliar su gama de negocios introduciendo un nuevo producto mas al mercado de la construcción de Guayaquil.

El objetivo de la tesis es básicamente cuantificar la productividad de la máquina y de los costos que tienen que incurrir los inversionistas para dejarla operativa. Los gastos que se contemplan en esta tesis son los costos de mantenimiento, reposición de repuestos y montaje de la misma.

La metodología seguida en este trabajo fue el de efectuar un levantamiento a la situación actual del equipo, levantando un listado de piezas faltantes, observación de la estructura y superficie de la lavadora, observación del estado actual de los componentes y cuantificar posteriormente todos los trabajos que habría que efectuar en dicha máquina, así como seleccionar los equipos que faltan y cuantificar su costo. Para confirmar la productividad de la máquina, se utilizaron las tablas y cuadros suministrados por el proveedor, además se efectuó una prueba en campo para completar la información requerida.

Se espera que el resultado de este trabajo confirme que la máquina clasificadora de materiales que se posee en la actualidad, sí puede ser utilizada como lavadora de arena y además que los costos que se necesita incurrir para dejarla operativa no son excesivos y permita a los inversionistas tomar la decisión de ejecutar dicho proyecto.



CIB-ESPOL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES y ANALISIS DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Identificación de necesidades y definición del problema.....	4
1.3. Determinación del Proceso de lavado de Arena.....	6
1.4. Diagrama del Proceso.....	11
1.5. Determinación del Lay out del Proceso.....	12

CAPITULO 2

2. INTRODUCCION.

2.1. Proceso de clasificar materiales.....	14
2.2. Tipos de clasificadores.....	22
2.3. Leyes fundamentales usadas para la clasificación de materiales ..	29
2.4. Forma de trabajar de una clasificadora de materiales.....	39
2.5. Partes constitutivas de una clasificadora de materiales.....	44
2.6. Tanques clasificadores.....	51
2.7. Protección superficial de las clasificadoras.....	52



CIB-ESPOL

CAPITULO 3

3. CARACTERISITICAS DE LA ACTUAL CLASIFICADORA DE ESPIRAS

3.1. Tipo de clasificadora espiras.....	55
3.2. Características del material a clasificar.....	59
3.3. Formas de seleccionar una clasificadora.....	65

3.4. Balance de masas de la clasificadora con las condiciones tentativas de uso.....	73
3.5. Productividad de la clasificadora.....	78

CAPITULO 4

4. MANTENIMIENTO Y MONTAJE DE LA CLASIFICADORA

4.1. Situación actual de la clasificadora.....	80
4.2. Costos de mantenimiento.....	87
4.3. Costos de Montaje	89



CAPITULO 5.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA Y DE PISCINAS DE DECANTACION

5.1. Selección de un sistema cerrado de lavado.....	91
5.2. Selección de bombas y tuberías para alimentar lavadora y cojinete inferior.....	94
5.3. Selección de bombas y tuberías para relleno de la piscina.....	103

5.4. Diseño de piscinas de decantación.....	109
---	-----

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
--	-----

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES y ANALISIS DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Este proyecto nació de la necesidad que existe en el cantón Guayaquil de utilizar arena de buena calidad para la industria de la construcción y de agregados.

Además existe como antecedente, el hecho de que los inversionistas de este proyecto poseen en la actualidad los equipos principales para el proceso de lavar arena. Estos equipos fueron adquiridos a la empresa sueca ABV, la misma que construyó y montó la represa de Agoyán por 1984, y debido a que culminó ese proyecto y al no tener mas obras que ejecutar en el país vendió todas las maquinarias a precio de remate pero en la modalidad de paquetes, es decir que la persona que compraba tenía que adquirir el número de equipos que el paquete que estaba en oferta poseía. Debido a que los inversionistas poseían en aquella época una cantera y existía dentro de uno de los paquetes que se ofertaban maquinarias que eran de su interés en aquella época, compraron ese lote de equipos a finales de la década de los 80.

Los equipos principales para el proceso de lavado de arena son la criba vibratoria y la lavadora de espiras. Ambos equipos están en la actualidad sin uso. La criba vibratoria estuvo en funcionamiento hasta hace 3 años atrás, estando actualmente parada y desmontada en los predios de la cantera de los inversionistas, el caso de la lavadora de espiras es mas crítico puesto que desde que se la adquirió nunca fue montada y ha permanecido a la intemperie todo este tiempo.

El fin de este proyecto es justamente analizar el costo que representaría a los inversionistas el dejar operativo esta planta, es decir cuantificar los costos de mantenimiento, costos de desmontaje, costos de montaje, y costos de puesta a punto de la planta en su totalidad.

1.2. Identificación de necesidades y definición del problema

Actualmente la arena que se utiliza proviene básicamente de la explotada en las orillas del río Babahoyo y Guayas, sin embargo estas arenas no son de primera calidad ya que no cumplen las normas ASTM que define la granulometría necesaria para que la arena pueda ser utilizada como agregado en la fabricación del hormigón y otros elementos utilizados en la industria de la construcción como son bloques, adoquines, baldosas, etc. El mayor problema que presentan estas arenas es que dentro de su composición existen porcentajes altos de material arcilloso, el mismo que no es deseado si se desea utilizar esta arena como agregado, para evaluar si un tipo de arena sirve o no en cuanto a la cantidad de material arcillosos presente, la ASTM desarrollo un norma la que consiste en tomar una muestra de la arena y hacerla pasar por un tamiz normalizado (malla # 200) y se considera como muestra aprobada si como mínimo el 95% del peso de la muestra es retenida por la malla. En caso de obtener un porcentaje menor de retención significa que la muestra contiene un alto porcentaje de material arcilloso y hay que someter a esa arena a un proceso de tal manera que el porcentaje de arcilla disminuya como máximo a un 5% del peso de la arena. Este es el motivo principal por el cual hay que lavar la arena previo a su comercialización.

Adicionalmente existe otro parámetro que hace a que la arena que se va a explotar en la cantera de este proyecto y es la forma de las

partículas de la arena. Las arenas que son explotadas en los bancos de las orillas de los ríos tienen una forma esferoidal, esto es debido a que como están sometidos a la acción de la fuerza de las aguas del río, esta corriente va erosionando la partícula de arena pero de una manera uniforme, lo que produce que el grano de arena al depositarse en el fondo del lecho tenga ya una forma esferoidal. La forma de las partículas de la arena de nuestro proyecto, al ser explotadas de una cantera al aire libre y al no estar sujetas a alguna fuerza externa que vaya erosionando paulatinamente el contorno de las partículas las hace que estén mantengan una forma irregular. Esta forma irregular de la partícula de arena es una característica muy deseada en la industria de la construcción, puesto que al utilizarse esta arena como agregado en la fórmula del hormigón el resultado que se obtiene es que esta arena produce una mayor cohesión entre todos los elementos del hormigón, dando como resultado un ahorro de materiales, especialmente el cemento, ya que para obtener un hormigón con determinadas características se necesita adicionar un porcentaje menor de cada uno de los materiales.

1.3. Determinación del Proceso de lavado de Arena.

El proceso escogido para la operación de esta planta ha sido seleccionado de tal manera que se puedan aprovechar las maquinarias que actualmente se poseen, de esta forma se ahorran gastos al proceso, explotando una cantera de arena en donde se ha comprobado la existencia de este material, así como la calidad del mismo. Esta cantera se encuentra ubicada en la Vía Perimetral de la ciudad de Guayaquil, en terrenos pertenecientes al cantón Daule en el sector Totoral.

Debido a la importancia del uso del agua dentro del proceso de lavado de arena, se ha escogido que el mejor sector para ubicar la planta es justamente al pie de la Vía Perimetral, ya que este punto se encuentra a 150 metros del río Daule y queda cerca de una alcantarilla que atraviesa la vía. El sitio seleccionado además queda en el segundo terraplén, ubicado en la cota +17 m, de esta manera se aprovecharía la diferencia de altura con el tercer terraplén (cota +29.40), lugar donde se efectuaría la descarga del material proveniente de la cantera y con el primer terraplén (cota + 6.5), en este sitio se efectuará el almacenamiento del material listo para ser despachado.

El proceso del lavado de arena comienza con la extracción de la arena en la cantera misma, existen varios puntos de extracción en la zona, ubicándose los mismos a una distancia entre 1.500 a 3.000 metros del sector donde se va ha definido la ubicación de la planta de lavado de arena. Se ha determinado el uso de un tractor para el movimiento de tierras, así como una retroexcavadora o una cargadora frontal para poder cargar las volquetas que efectúen el transporte del material. Inicialmente se ha calculado un volumen de extracción de 300 TM/Hora

La velocidad mínima a la que deben de ir la volquetas es de 40 Km/h, esta velocidad no es difícil de alcanzarla en verano, época en que por no haber lluvia el camino se encuentra en relativo buen estado, sin

embargo en invierno esta velocidad es mas difícil de alcanzarla debido a que el camino se comienza a erosionar debido a la lluvias y los choferes de los camiones tienen que disminuir considerablemente la velocidad de sus vehículos para no estropearlos.

Los vehículos que transportan el material llegan al tercer terraplén y en este sitio lo descargan dentro de una tolva, dando inicio al proceso de lavado de arena en la planta.

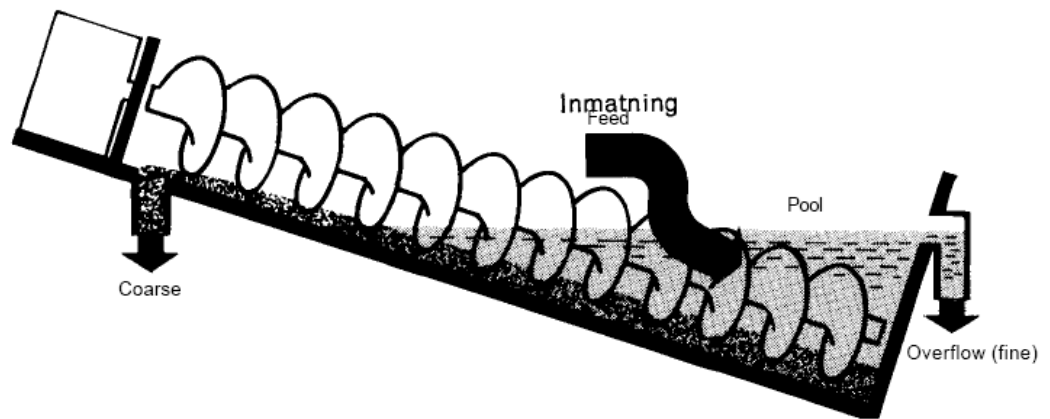
En este sitio se efectúa una primera selección del tamaño del material a procesar al pasarlo a través de unas rejillas estáticas dejando pasar material de tamaño máximo de 4". El producto grueso es descargado hasta el patio de almacenamiento y venderlo posteriormente.

Este producto previamente seleccionado es conducido hacia la zaranda en donde se va a clasificar el material en tamaño menor a 3/8". Con esta granulometría se va a trabajar en el resto del proceso, siendo el material grueso transportado al patio de descarga para su posterior venta. La capacidad de producción de la zaranda es de 250 TM/H.

La arena con la granulometría adecuada tiene que ser separada nuevamente debido a motivos de productividad de la lavadora, esta tiene una productividad menor a la de la zaranda, y por ende tiene que

entrar en el proceso de lavado solamente el volumen para la cual tienen la lavadora capacidad de trabajo. El resto de la arena se la transporta al patio de carga donde se va a proceder a la posterior venta como arena de menor calidad que la arena lavada.

El siguiente paso del proceso es el de lavado en sí, el material es conducido hacia la lavadora a través de un transportador de bandas, a la salida de la lavadora existe otro transportador de bandas que va a llevar el producto hasta el patio de carga para su posterior venta. La capacidad de producción de la lavadora es de 50 TM/hora, pensando para un futuro incrementar la producción con la adquisición de otra máquina. El principio de funcionamiento de la lavadora consiste en llenar una piscina que existe dentro de la lavadora con agua, y simultáneamente bombear continuamente agua desde la parte inferior de la piscina mientras se efectúa la descarga de la arena sin lavar en la parte superior de la piscina, de tal manera que las partículas gruesas de la arena se vayan depositando sobre el fondo de la piscina mientras que las partículas mas pequeñas van siendo arrastradas por el agua y desalojadas de la piscina por medio de rebose. Las partículas gruesas que se depositan en el fondo son arrastradas posteriormente por un tornillo sin fin y elevadas a un ángulo de 20° para que se produzca el desagüe de la arena.

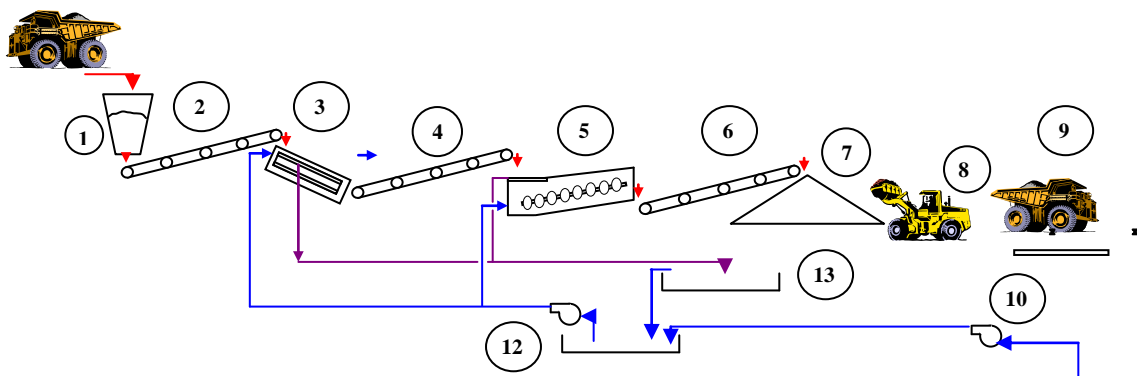


En el patio de carga se decidió tener un cargador frontal que despache los camiones de los diferentes clientes. Para tener un control total sobre el despacho de material se ha decidido tener una balanza electrónica de alta sensibilidad para de esta manera poder facturar el peso exacto al cliente y así evitar pérdidas por mal despacho o mala facturación.

Adicionalmente, existe una reutilización del agua que sale por reboce de la piscina, la misma que es conducida a una piscina de decantación, para que se sedimenten las partículas que trae consigo y luego esta agua clarificada es conducida nuevamente a la piscina de bombeo para ser reutilizada en el proceso de lavado que se efectúa en la piscina de la lavadora de espiras.

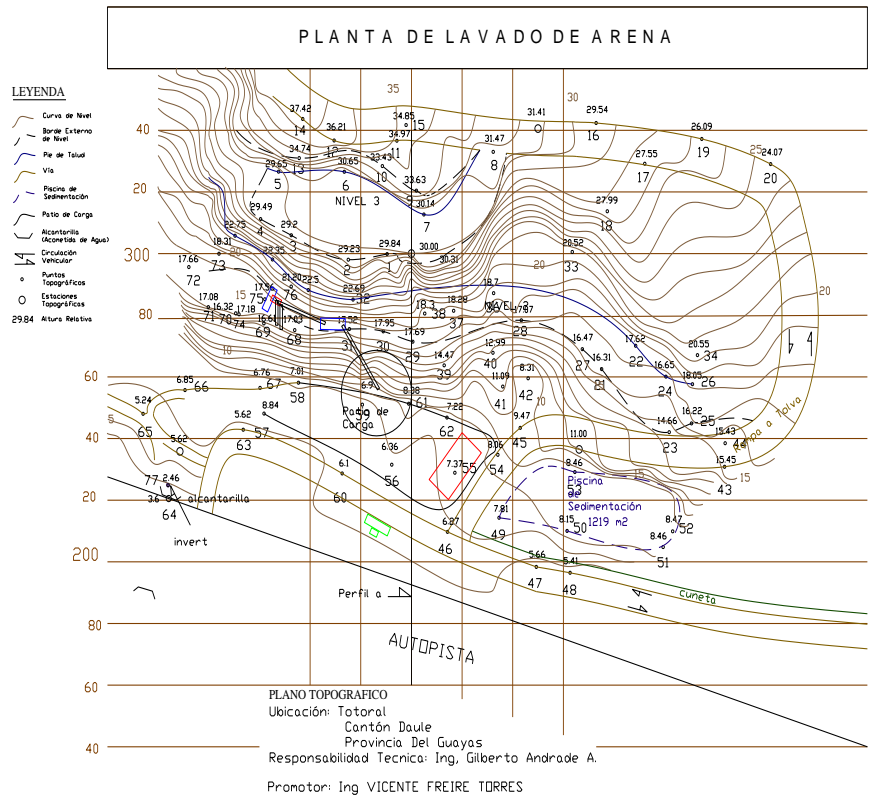
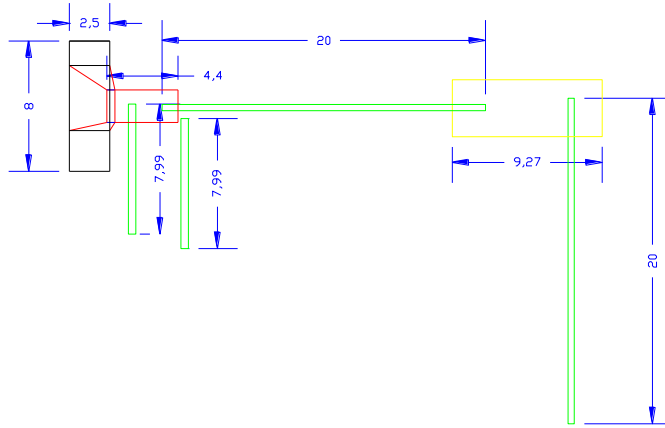
1.4. Diagrama del Proceso.

El proceso descrito anteriormente queda expresado en el diagrama de del Gráfico 1.2



Código	Sector
1	Tolva
2	Banda transportadora
3	Saranda
4	Banda transportadora
5	Lavadora
6	Banda transportadora
7	Arena lavada
8	Despacho
9	Balanza
10	Bombeo agua de río
11	Piscina de Almacenamiento
12	Bombeo de Piscina
13	Piscina de decantación

1.5. Determinación del Lay out del proceso.



CAPITULO 2

2. INTRODUCCION.

2.1. Proceso de clasificar materiales

Las etapas de operación en el procesamiento de minerales se han mantenido igual durante miles de años. Por supuesto, desde entonces se ha avanzado en el desarrollo de equipos y procesos, pero los cristales minerales, duros, abrasivos y no homogéneos, deben ser tratados en forma especial para poder extraer el valor máximo de cada fracción de tamaño.

El patrón operacional que se muestra a continuación ha sido utilizado desde los días de "mineralis antiqua". Y se detalla en el gráfico 5.1

Etapa Inicial	Punto de partida del procesamiento de minerales
Reducción de Tamaño y Control	Procesos para producir la distribución del calibre requerido partiendo del material de alimentación
Enriquecimiento	Procesos para aumentar el valor de minerales por medio de lavado y/o separación
Refinamiento	Procesos para producir los productos finales requeridos a partir de minerales con valor y desechos
Tratamiento de Materiales	Operaciones para avanzar los procesos con un

	mínimo de alteraciones.
Protección	Medidas para proteger el medio de proceso contra el desgaste y emisiones de polvo y ruido.

En la etapa inicial debemos de considerar los diferente tipos de frentes que se pueden explotar en la naturaleza y estos son básicamente de dos tipos:

- Frentes de Minería y Cantera
- Frentes Naturales

Los frentes de minería y cantera son los puntos de partida para la recuperación de roca y minerales de valor de depósitos en superficie y/o bajo tierra. Las operaciones principales son:

- Perforación (voladura)
- Chancado primario (opcional)
- Tratamiento de materiales: seco y húmedo

En los frentes naturales tenemos: glaciales, aluviales y marinos, donde la naturaleza ha realizado gran parte del trabajo de reducción primaria de tamaño. Lo materiales en crudo tales como la gravilla, arena y arcilla son importantes para el procesamiento de balesto de construcción, metales y rellenos de mineral industrial. Las operaciones son el tratamiento de materiales (seco y húmedo) y chancado inicial (opcional).

La reducción de tamaño de minerales se realiza normalmente para liberar los minerales de valor desde la roca donde están depositados. Esto significa que debemos lograr un tamaño de liberación, normalmente en un intervalo de 100-10 micrones. Si el material en bruto es un mineral simple (calcita, feldespato y otros) , el valor esta normalmente en la producción de un polvo muy fino (relleno). Para poder maximizar el valor en reducción de tamaño de rocas y minerales se puede combinar chancado y trituración en varias etapas.

Sin embargo ni los chancadores ni los molinos son muy precisos cuando se trata del tamaño correcto del producto final. La razón se encuentra en parte, en la variación de los compuestos de cristales de mineral (duro-suave, abrasivo-no abrasivo), y en parte en el diseño y rendimiento del equipo. Para el control de tamaño en la parte mas gruesa del proceso se usan los coladores y zarandas y en las partes mas finas del proceso los clasificadores en espiral y los hidrociclones.

En la etapa de enriquecimiento tenemos básicamente dos métodos, por lavado y/o separación. El lavado es el método mas simple de enriquecimiento utilizado para aumentar el valor de las fracciones de roca y mineral de tamaño de la arena hacia arriba. La eliminación de impurezas en la superficie, tales como arcilla, polvo, productos orgánicos o sales, es por lo general para un producto vendible. Dependiendo de la dureza de las impurezas adheridas a la superficie de la roca o mineral, se utilizan diferentes técnicas:

- Harneros húmedos
- Depuradores
- Celdas de atrición
- Lechos Gravitacionales

La mayoría de los minerales de valor (metálicos e industriales), están valorados por su pureza. Después de su liberación por reducción y control de tamaño, todos los minerales están libres para ser separados el uno del otro. Dependiendo de las propiedades de cada mineral en forma individual, estos se pueden recuperar por los diferentes métodos de separación :

- Gravimétrica
- Flotación
- Magnética
- Lixiviación

Nos vamos a enfocar en este trabajo solamente en el proceso de clasificar arena.

Existen básicamente dos métodos para clasificar arena industrialmente, un proceso en seco y en húmedo.

El procesamiento en seco, como su nombre mismo lo indica, no necesita de agua para ser procesado, ya que sea porque el material no acepta agua en el proceso o porque simplemente no se requiere de este elemento para proceder a la clasificación. El proceso en húmedo en cambio se lo hace en presencia de agua, tiene la ventaja de ser de mayor eficiencia, con instalaciones mas compactas y sobre todo sin emisión de polvo en el proceso, aunque la tasa de desgastes mecánicos es mayos en este tipo de procesamiento.

En la etapa inicial del proceso tenemos que identificar el tipo de frente en el que se va a trabajar. Existen básicamente dos tipos de frentes: de minería y cantera y los frentes naturales.

Los frentes de minería y cantera son los puntos de partida para la recuperación de roca y minerales de valor de depósitos en superficie y bajo tierra. Las operaciones son: perforación (voladura), chancado primario (opcional) y tratamiento de materiales (en seco y/o húmedo). Los frentes naturales son de tipo: glaciales, aluviales y marinos, donde la naturaleza ha realizado gran parte del trabajo de reducción primaria de tamaño. Las operaciones son el tratamiento de materiales (seco y húmedo) y chancado inicial (opcional).

La etapa de reducción de tamaño de minerales se realiza normalmente para liberar los minerales de valor desde la roca donde están depositados. Esto significa que se debe lograr un tamaño de liberación, normalmente en un intervalo de 100-10 micrones. Si el material en bruto es un mineral simple (calcita, feldespato y otros), el valor está normalmente en la producción de

polvo muy fino (relleno). Para poder maximizar el valor en la reducción de tamaño de rocas y minerales, muchas veces es necesario chancado y triturado en varias combinaciones.

Para el control de tamaño, ni los molinos ni los chancadores son muy precisos cuando se trata del tamaño correcto del producto final. La razón se encuentra en parte, en la variación de los compuestos de cristales minerales (duro-suave, abrasivo-no abrasivo), y en parte en el diseño y rendimiento del equipo. Para la parte mas gruesa del proceso se usan coladores y zarandas y en la parte mas fina tenemos que clasificar con clasificadores n espiral y/o hidrociclones.

La etapa de enriquecimiento tiene dos métodos: lavado y separación. El lavado es el método más simple de enriquecimiento utilizado para aumentar el valor de las fracciones de roca y mineral del tamaño de la arena hacia arriba. La eliminación de impurezas en la superficie, tales como arcilla, polvo productos orgánicos o sales, es por lo general para un producto vendible. Dependiendo de la dureza de las impurezas adheridas a la superficie de la roca o mineral se utilizan diferentes técnicas: harneros húmedos, depuradores, celdas de tracción y lechos gravitacionales. La mayoría de los minerales de valor (metálicos e industriales), están valorados por su pureza. Después de su liberación por reducción y control de tamaño, todos los minerales están libres para ser separados el uno del otro. Dependiendo de las propiedades de cada mineral en forma individual, estos se pueden recuperar de acuerdo a uno de los siguientes métodos: gravimétrica, flotación, magnética, lixiviación.

Después de la operación de enriquecimiento se obtiene un producto de valor (concentrado) y un producto sin valor (relaves). Probablemente estos productos no son vendibles ni tampoco desechables debido a su contenido de agua de procesamiento, tamaño de partículas o composición química. Por refinamiento se entienden los métodos para aumentar el valor de estos productos por sedimentación, deshidratación mecánica, secado, calcinamiento o sinterización y recuperación del agua de proceso de los relaves, haciendo que sean desechables.

2.2. Tipos de clasificadores.

El proceso de clasificación de materiales se da en las empresas de procesamientos de minerales básicamente por dos motivos, para separar materiales que son de utilidad para el proceso y desechar los desperdicios y el segundo es para separar materiales de un mismo tipo en diferentes tamaños de partículas.

En el caso que nosotros nos topamos en el procesamiento de arena de cantera es una combinación de ambos motivos, debido a que la arena que se extrae de la cantera trae una cantidad excesiva de arcilla, la misma que tiene que ser eliminada hasta un valor que represente como máximo un 5% del peso de la arena, y la forma en que se va a extraer este excedente de partículas es

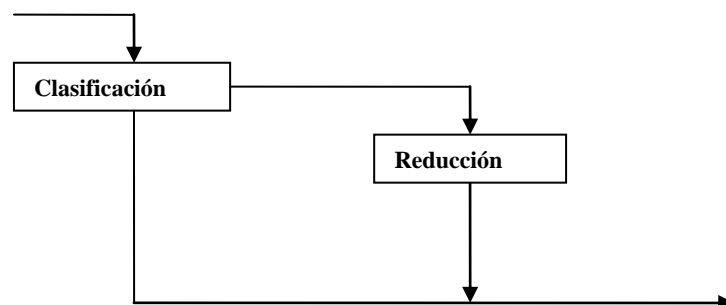
controlando que el tamaño de partículas llegue a un 0% de retención en la malla #200.

Entendemos como control de tamaño de partícula al proceso de separación en dos o mas productos en base a su tamaño. Esto puede ser realizado en húmedo o en seco.

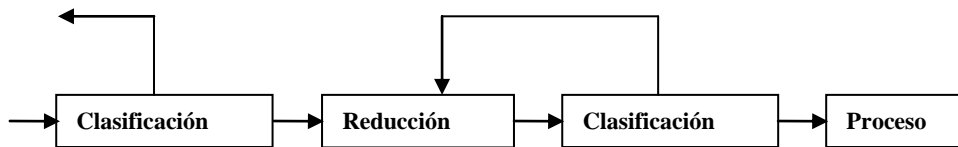
En los procesos en que se requiere triturar material, ni los chancadores ni los molinos de molienda son demasiados exactos en su trabajo de reducción de tamaño y muchas fracciones diferentes quedan mal clasificadas. Utilizando el control de tamaño, el resultado puede mejorar tanto en cuanto a la capacidad, como al tamaño de la partícula.

Existen varios motivos por el cual se desea clasificar un material por su tamaño:

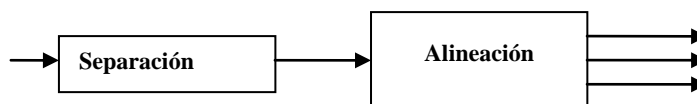
1. Para evitar que el bajo tamaño en la alimentación bloquee la próxima etapa de reducción (separación preeliminar).



2. Para evitar que el sobre tamaño siga hacia la próxima etapa de reducción u operación (dimensionamiento del circuito)



3. Para preparar un producto de tamaño definido (dimensionamiento del producto)



Los sistemas modernos de clasificadores de materiales tuvieron sus orígenes a comienzos de 1900 y de esa fecha par acá sus diseños no han variado en cuanto a los conceptos o leyes físicas que se utilizan para clasificar materiales.

Como el material a clasificar en la planta que estamos analizando montar es arena extraída de cantera, nos vamos a enfocar en las máquinas mas comunes para clasificar este tipo de material.

Existen básicamente dos métodos de clasificación:

- En húmedo y en
- En seco

Para el método de clasificación en húmedo se utilizan actualmente dos sistemas :

- Hidrociclones
- Clasificadores en Espiral.

Para el método de clasificación en seco se utilizan sistemas que actúan utilizando la fuerza centrífuga.

Como la clasificación de arena siempre ocurre en un ambiente polvoroso normalmente se prefiere escoger el método de clasificación en húmedo, por lo que nos vamos a enfocar en este método de clasificación.

Los hidrociclones trabajan utilizando las fuerza centrífugas, clasificando los sólidos por su tamaño. Las partículas de masa alta mas cercanas a la pared externa se dirigen al flujo del fondo. Las partículas de masa baja cercanas al centro se dirigen hacia el derrame.

Aunque el hidrociclón por naturaleza es una máquina de control de tamaño, la cantidad, la cantidad de aplicaciones en minerales son muchas:

- Clasificación en circuitos de trituración
- Deshidratación y espesamiento
- Eliminación de cal y lavado
- Enriquecimiento de minerales pesados

El diseño de básico de un hidrociclón está dado de acuerdo a los siguientes componentes.

1. Buscador de vórtice
2. Cabezal de entrada
3. Espigas
4. Codo de derrame
5. Entrada de alimentación
6. Barril
7. Conos
8. Extensión de conos.

El otro sistema de clasificación de materiales en medio húmedo es el clasificador espiral o de tornillo. Este se obtiene al combinar un decantador de sección rectangular con un espiral de transporte inclinado para el sedimento.

El diseño de un clasificador espiral es simple y fuerte, con pocas partes en movimiento. Es una máquina confiable para trabajos de clasificación en la gama de 100-1000 micrones.

Así como el hidrociclón, esta máquina de control de calibre cuenta con muchas aplicaciones prácticas en el proceso de materiales:

- Trituración en circuito cerrado (clasificación primaria con el ciclón como secundario)
- Deshidratación
- Recuperación de arena
- Eliminación de cal y arcillas
- Densificación de medios duros

El clasificador de espiras esta constituido básicamente de las siguientes partes:

1. Pozo de sedimentación
2. Espiral de transporte
3. Transmisión del espiral
4. Vertedero de derrame
5. Mecanismo de elevación del espiral.

2.3. Leyes fundamentales usadas para la clasificación de materiales

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de

las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

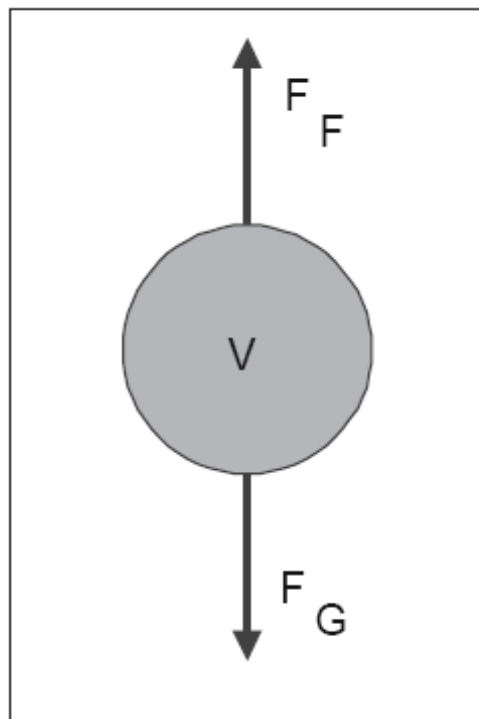
Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos. El fenómeno de sedimentación

de partículas discretas por caída libre, también denominado en soluciones diluidas, puede describirse por medio de la mecánica clásica.

En este caso, la sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas según se demuestra a continuación.

Imaginemos el caso de una partícula que se deja caer en el agua. Esta partícula estará sometida a dos fuerzas (figura 7-1): fuerza de flotación (FF), que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula (Principio de Arquímedes), y fuerza gravitacional (FG).



Si $FF = \rho g V$ y $FG = \rho_s g V$

donde:

ρ = densidad del líquido

ρ_s = densidad del sólido

V = volumen de la partícula

De la acción de ambas fuerzas tenemos la fuerza resultante, que será igual a la diferencia de estos dos valores y estará dada por:

$$F_i = g V (\rho_s - \rho)$$

donde:

F_i = fuerza resultante o fuerza de impulsión

Arrastrada por esta fuerza (F_i), la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton, cuyo valor es:

$$F_R = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V_s^2}{2}$$

donde:

F_R = Fuerza de rozamiento

$V_s^2/2$ = Energía cinética

A = Área transversal al escurrimiento

V_s = Velocidad de sedimentación

C_D = Coeficiente de arrastre

Después de un corto periodo, la aceleración pasa a ser nula y el valor de la fuerza de fricción (F_R) iguala a la de impulsión (F_i), momento en el cual la

partícula adquiere una velocidad constante, conocida como velocidad de asentamiento o sedimentación. En ese momento se cumple que (F_i) y (F_R) son iguales; por lo tanto:

$$g \cdot V (\rho_s - \rho) = C_D \cdot A \cdot \frac{V_s^2}{2} \rho$$

Despejando el valor de V_s se obtiene:

$$V_s = \sqrt{\frac{2g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot \frac{V}{A}}$$

Para el caso particular de partículas esféricas:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

y

$$V = \frac{\pi d^3}{6}$$

Siendo d = diámetro de la partícula:

$$\frac{V}{A} = \frac{\pi/6 d^3}{\pi/4 d^2} = \frac{2}{3} d$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot d}$$

En la cual:

V_s = velocidad de sedimentación

d = Diámetro de la partícula

g = Aceleración de la gravedad

ρ_s = Densidad de la partícula

ρ = Densidad del fluido

El coeficiente de arrastre de Newton es una función del Número de Reynolds y de la forma de las partículas:

$$C_D = a \cdot Re^{-n}$$

Siendo el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s \cdot d}{u}$$

a = Constante específica

Re = Número de Reynolds

U= Viscosidad cinemática (Stokes)

Si $d < 0,085$ mm, $Re < 1$, entonces prevalece flujo laminar, siendo:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

y

$$\frac{\rho_s}{\rho} = S_s$$

al reemplazar en la ecuación (V_s), se origina la ecuación de Stokes:

$$V_s = \frac{g}{18} (S_s - 1) \frac{d^2}{\mu}$$

Cuando $d > 1,0$ mm, $Re > 1.000$, presenta flujo turbulento, para lo cual:

$$CD = 0,4$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (V_s), se obtiene una velocidad terminal de:

$$V_s = \sqrt{(3,3 \cdot g (S_s - 1) d)}$$

conocida como la ecuación de Newton.

Para los casos de diámetro de partículas comprendidas entre 0,85 y 1,0 mm y especialmente números de Reynolds de 1 a 1.000, se presenta flujo de transición para el cual los valores de CD son variables y su determinación puede realizarse a través de cualquiera de las ecuaciones indicadas en el cuadro 7-1.

Autor	Expresión
Rich	$C_D = \frac{18,5}{Re^{0,60}}$
Hatch	$C_D = \frac{14}{Re^{0,50}}$
Allen	$C_D = \frac{12,65}{Re^{0,50}}$
Fair-Geyer-Okun	$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$
Schiller-Newman	$C_D = \frac{12}{Re} (1 + 0,14 Re^{0,687})$
Goldstein	$C_D = \frac{12}{Re} + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1.280} Re^2 + \frac{71}{20.480} Re^3$

Si se desconoce cómo se comporta la sedimentación de una determinada partícula (zona laminar, turbulenta o en transición), el cálculo de la velocidad de sedimentación debe hacerse por tanteos.

Fair, Geyer y Okun (3) determinan la velocidad de sedimentación utilizando los ábacos de las figuras 7-2 y 7-3, que tienen la ventaja de que permiten visualizar directamente y en forma simultánea distintas soluciones. Este método, que permite el cálculo directo, se aplica resolviendo las siguientes ecuaciones:

Término del diámetro (X_1):

$$\left[\frac{g (S_s - 1)}{v^2} \right]^{1/3} d = K_1 d = X_1$$

Término de velocidad (X_2):

$$\frac{V_s}{[g(S_s - 1)v]^{1/3}} = \frac{V_s}{K_2} = X_2$$

Se puede, entonces, representar K_1 y K_2 en función de la densidad relativa S_s y la temperatura, tal como se muestra en el gráfico de la figura 7-2. También se puede representar X_2 en función de X_1 , tal como se muestra en el gráfico de la figura 7-3.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

Conociendo las características de las partículas y del agua, se obtiene K_1 y K_2 de la figura 7-2. Conociendo, por otra parte, $X_1 = K_1 d$, se entra al gráfico de la figura 7-3 y se obtiene X_2 , con lo cual se calcula $V_s = K_2 X_2$.

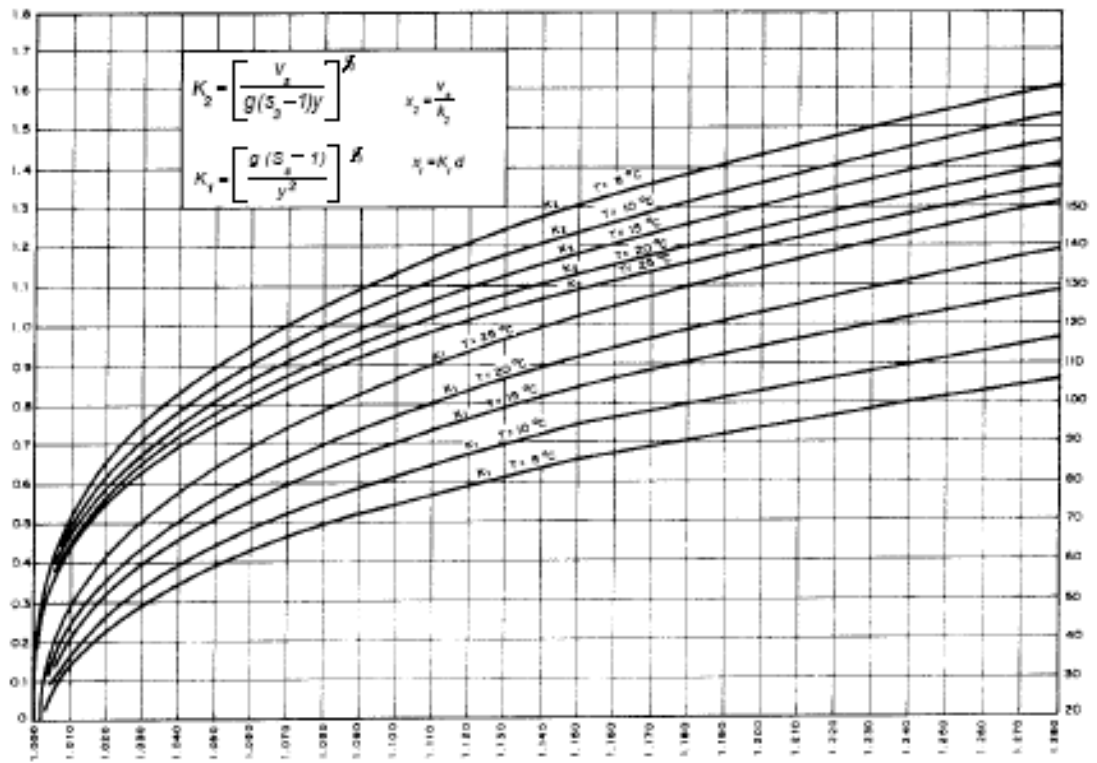


Figura 7-2. Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático $V_s = K_x X_2(2)$

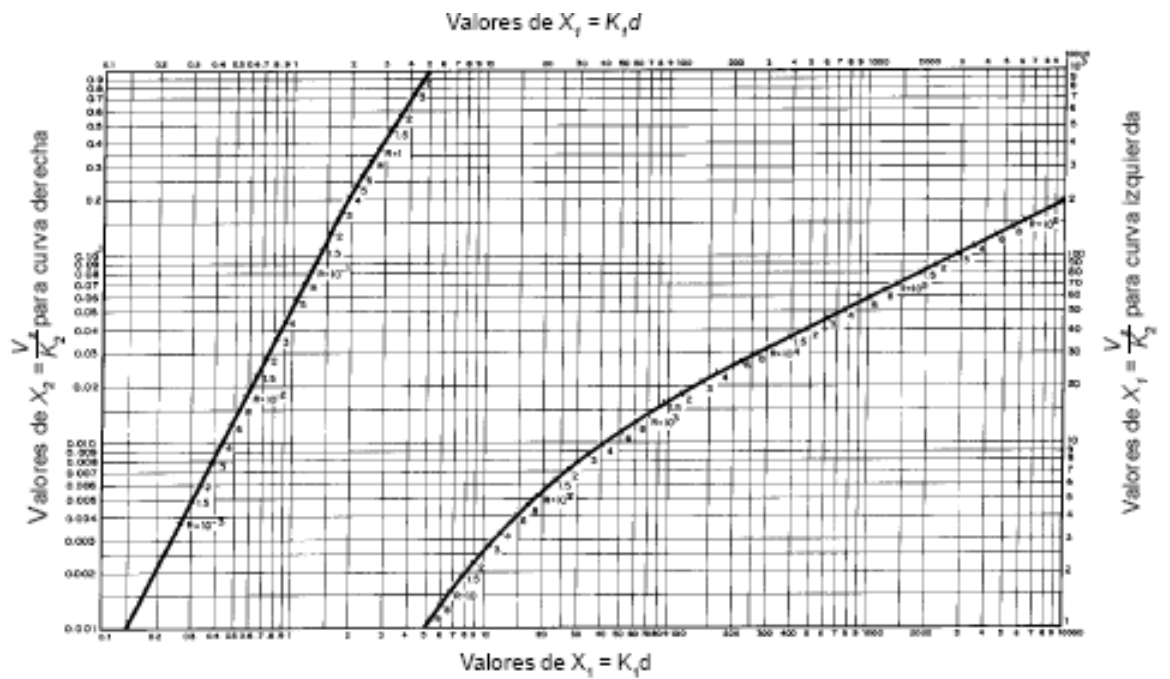
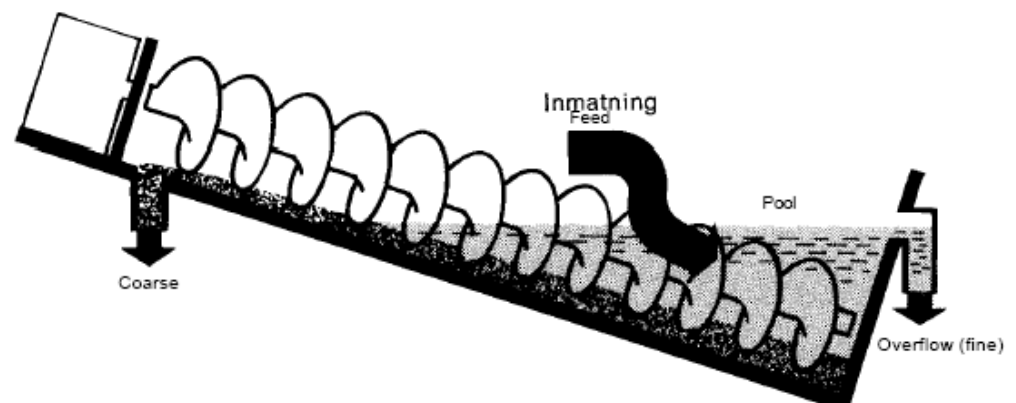


Figura 7-3. Velocidad de asentamiento y flotación de esferas discretas en un fluido estático $V_s = K_x X_2(1)$

2.4. Forma de trabajar de una clasificadora de materiales

La clasificadora en espiral es una máquina robusta que contiene básicamente los siguientes elementos:

- Pozo de sedimentación
- Túnel de arrastre
- Espiral de transporte (1 o dos ejes)
- Sistema de transmisión
- Alimentación
- Vertedero de derrame (Overflow)
- Descarga
- Mecanismo de elevación del espiral



La forma como trabaja esta clasificadora es muy sencillo y funciona con el criterio de sedimentación de partículas discretas en caída libre. Esto ocasiona que para poder trabajar con este criterio hay que tener en cuenta que no pueden existir muchas turbulencias

dentro de la piscina de decantación. (Es decir que existe un límite para la velocidad de la espira y de la entrada de agua de reposición).

La máquina tiene una piscina en su parte inferior, que hay llenarla de agua primeramente antes de comenzar a efectuar el proceso de clasificación. Es en esta piscina donde se va a descargar desde la parte superior de la piscina la arena cruda o sin lavar. Aquí va a ocurrir el proceso de sedimentación de las partículas discretas, las mismas que caerán al fondo del tanque mientras que las partículas finas quedarán en solución en el agua del tanque. Para evitar que se formen altas concentraciones de partículas en el agua y se pase de una sedimentación de caída libre a una de caída interferida, hay que constantemente renovar el agua del tanque, por este propósito se tiene instalado en la parte inferior del tanque un sistema de alimentación de agua, el mismo que introduce un caudal establecido de agua, de acuerdo a las características finales que se desea del material. Así mismo, necesariamente existe un nivel en la parte superior del tanque que permite que el agua con los materiales finos sean extraídos del tanque. Esta agua es llevada a otro lugar de la planta para que sea clarificada y pueda ser reutilizada en el proceso en el sistema de alimentación de agua, (normalmente se escoge un sistema de circuito cerrado para este tipo de proceso).

El material una vez que se sedimenta en la parte inferior del tanque, tiene que ser transportado a través del túnel de arrastre hasta la parte superior del mismo por medio de unos espirales sin fin que continuamente están desplazando el material acumulado.

Dependiendo de la productividad de la planta, se pueden tener clasificadores de una sola espira o de dos espiras, que se los denomina de paso simple o de paso doble. Obviamente los clasificadores de paso doble tienen el doble de capacidad de producción que las de paso simple.

El túnel de arrastre se encuentra inclinado normalmente a 25^a con respecto al eje horizontal. La mayoría de empresas que producen clasificadores espirales tienen este ángulo de elevación, puesto que es una inclinación moderada que permite la manipulación de todo tipo de material pétreo.

La longitud del túnel de arrastre varía ligeramente de una marca a otra, pero no influye en el proceso de clasificación como tal sino simplemente a que una longitud de mayor tamaño permite que el material escurra un poco más el agua que arrastra.

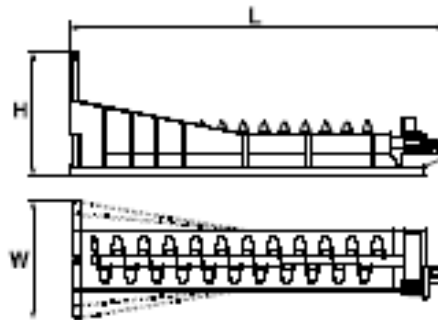
Si bien es necesario elaborar un balance de masas para determinar la cantidad de agua que se necesita ingresar a la lavadora de acuerdo al flujo de material que se va a ingresar y las condiciones finales del mismo, la experiencia dice que la relación entre la alimentación de arena con respecto al agua es aproximadamente 1:3. Además el contenido remanente de humedad es de 20 – 25% de agua en peso.



En la parte superior del tanque de arrastre existe una abertura que permite descargar el material. Normalmente esta descarga ocurre sobre algún otro medio de transporte, principalmente bandas transportadoras, las mismas que llevan el material a otro sitio de

acopio o de despacho. En muy raras ocasiones y cuando la producción de la planta no es muy grande se puede apilar el material lavado a la salida del tornillo.

De acuerdo a las diferentes necesidades de cada planta y cliente se pueden conseguir clasificadores espirales de muy diversos tamaños, desde espiras de 60 cm. hasta 200 cm. de diámetro. En la Tabla podemos observar los diversos tipos de clasificadores de espiras de paso simple de la marca Metso.



Model	Inside tank length (mm)	L (mm)	W ST (mm)	W MF (mm)	W FF (mm)	H (mm)	Weight excl. pulp (kg)	Motor size (kW)	Motor size (Hp)
60	4496	5578	711	1092	1534	1557	1991	1.1 - 2.2	1.5 - 3
60	5029	6111	711	1092	1534	1557	2191	1.1 - 2.2	1.5 - 3
75	5334	6416	864	1340	1890	1862	2563	1.1 - 2.2	1.5 - 3
75	6121	7203	864	1340	1890	1862	2802	1.1 - 2.2	1.5 - 3
90	6807	8037	1042	1613	2273	2172	3024	1.5 - 4	2 - 5
90	7569	8799	1042	1613	2273	2172	4121	1.5 - 4	2 - 5
120	8230	9837	1347	2093	3004	2431	6008	2.2 - 7.5	3 - 10
120	9296	10904	1347	2093	3004	2431	7757	2.2 - 7.5	3 - 10
150	9728	11438	1677	2540	3744	2888	13263	5.5 - 15	7.5 - 20
150	11049	12758	1677	2540	3744	2888	14060	5.5 - 15	7.5 - 20
200	12192	14209	2135	3470	5062	4082	22607	7.5 - 22	10 - 30
200	13208	14599	2135	3470	5062	4082	24410	7.5 - 22	10 - 30
220	13293	15484	2287	3533	5159	4643	30690	7.5 - 2.2	10 - 30
220	14208	16398	2287	3533	5159	4643	32392	7.5 - 2.2	10 - 30

ST = Straight ; MF = Modified Flare ; FF = Full Flare

2.5. Partes constitutivas de una clasificadora de materiales

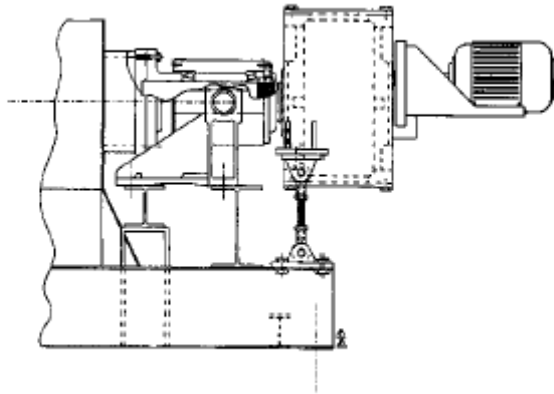
La clasificadora tiene varios elementos mecánicos que una vez ensamblados conforman el sistema:

Estos elementos son:

- Sistema de transmisión
- Rodamientos en el eje
- Sistema de elevación de la espira
- Eje de la espira
- Alas de la espira
- Protectores de la espira

El sistema de transmisión de la clasificadora, es decir la velocidad de reducción y el torque, son provistas por un reductor comercial, impulsado por un sistema de reducción de poleas por un motor eléctrico TFC. Todos estos elementos son escogidos de acuerdo al tamaño, potencia y sobre todo capacidad de producción de la lavadora.

Podemos encontrar equipos con motores de 1,5 hasta de 30 HP, como hablamos anteriormente existe una amplia gama de tamaños de clasificadores. Normalmente el sistema de transmisión se encuentra en la parte superior de la clasificadora.



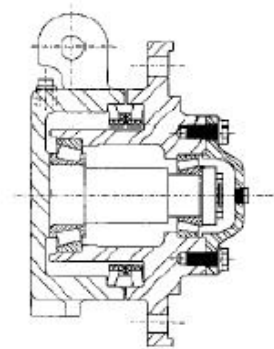
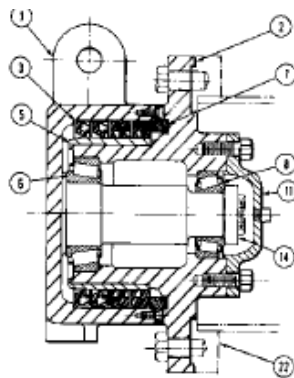
Los rodamientos que existen en el eje siempre son de dos juegos, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, este último está sumergido dentro del tanque de separación por lo que hay que tener algunas consideraciones especiales el momento de seleccionarlo.

El cojinete superior consta de un cojinete de rodillos y de un cojinete de rodillos axial, los cuales se lubrican a través de lubricadores. Utilizando para este propósito una grasa para cojinetes a bolas resistente al agua y de buena calidad, como por ejemplo a base de litio. El intervalote lubricación es aproximadamente 150 horas dependiendo del tamaño de del cojinete seleccionado para cada modelo de calificador de espira.

El cojinete inferior en cambio tiene que estar diseñado para trabajar sumergido en el agua. Antiguamente se tenían cojinetes de caucho los cuales eran lubricados con agua a una presión entre 1 y 1,5 Kg/cm², con esta presión que es superior a la presión del agua con lodo en el tanque se

evita que esta agua que contiene partículas abrasivas puedan ingresar al cojinete y deteriorarlo. Actualmente, los nuevos diseños en cambio tienen un juego de un par de cojinetes cilíndricos de trabajo pesado montados en una carcasa especial sellada, se obtienen de 2 tipos los permanente sellados que no requieren lubricación y los que se pueden desarmar y si necesitan un periódico cambio de lubricante.

1. Submerged Bearing Housing
2. Submerged Bearing Body
3. Seal
5. Seal Sleeve
6. Bearing
7. Retainer Seal Ring
8. Bearing
11. Bearing Cap
14. Bearing Retainer
22. Pipe Shaft Assembly



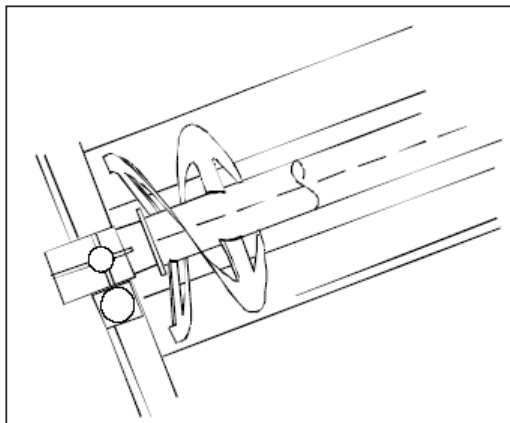
Grease Purged Bearing Oil, permanently sealed bearing

La espira puede ser levantada o descendida por medio de dos sistemas, uno manual o uno hidráulico. En ambos casos existe un sistema que esta acoplado a la carcasa del eje inferior de la espira y dependiendo de l tipo de accionamiento, manual o hidráulico, se puede acomodar el eje en un nivel mas adecuado para el trabajo óptimo del sistema. Para clasificadores con diámetro de rosca mayores a 1200 mm se tienen accionamientos hidráulicos.

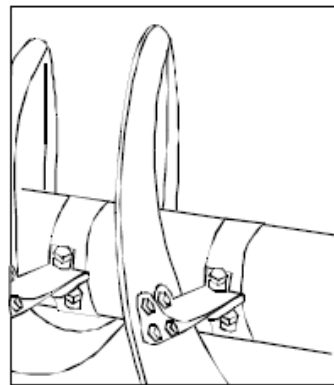
El eje de la espira consiste en un eje sólido, de tubo sin costura de acero de diámetro grande diseñado para tener mínimas deflexiones. Donde las

cargas de tensión y torsión son casi insignificantes en comparación a las de flexión. En los nuevos modelos existen espacios vacíos entre las alas de las espiras y el eje, esto para permitir un mejor desaguamiento de la mezcla transportada.

Las alas que se conectan a al eje pueden a su vez ser de dos tipos, soldados a la espira o conectados a través de pernos, en ambos casos se tienen un sinnúmero de piezas prefabricadas que posteriormente son conectadas al eje, soldadas o empernadas, una tra de otra dando al final la forma de la espira.

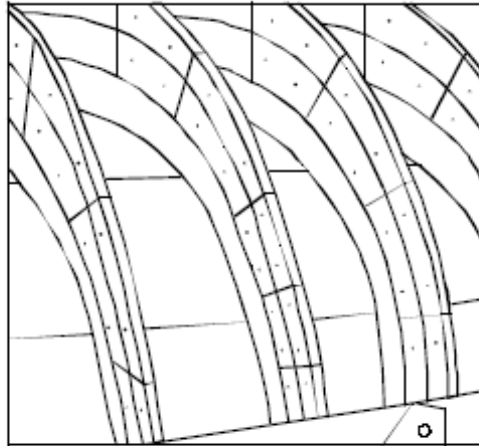


Spiral flights - welded design



Spiral flights - bolted design

Finalmente existen unos protectores de caucho que son colocados en la parte frontal de todas las espiras, la función de estos elementos es evitar el desgaste de la pieza metálica, ya que estas están sujetas a un continuo movimiento friccionante en presencia de un medio altamente abrasivo, si no se tuviera este recubrimiento el cambio de las piezas de la espiras sería continuo y costoso.



Flight wear shoes

En el Anexo# se puede observar un detalle del despiece de una clasificadora Metso 1200x8, en el cual se detalla el número de piezas de cada uno de los elementos de esa máquina.

2.6. Tanques clasificadores

El tanque clasificador es una estructura rígida de acero soldado, dos largas vigas conforman la superestructura y soportan el peso del tanque y los mecanismos de transmisión. El tanque y la superestructura son conformadas como una sola unidad soldada. Se requieren un mínimo de elementos estructurales intermedios para conformar la estructura total del tanque.

Los tanques vienen diseñados en tres tamaños de acuerdo al área de la piscina requerida en el momento de seleccionar el clasificador.

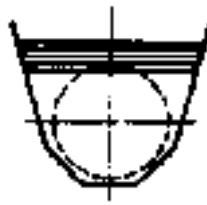
- Tanque de lados rectos
- Tanque de lados ensanchados
- Tanque con máximo ensanchamiento

El tanque de lados rectos se lo utiliza básicamente cuando no se requiere un área de piscina muy grande, ya que los elementos a sedimentarse tienen una alta densidad y caen a una alta velocidad de sedimentación.

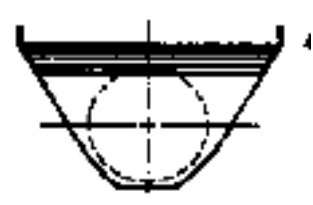
Los otros dos tipos de tanque se los utiliza obviamente cuando se necesita una mayor área de piscina para dar mayor tiempo a las partículas a que se sedimenten.



STRAIGHT



MODIFIED



FULL FLARE

2.7. Protección superficial de las clasificadoras.

Debido a que la máquina va a trabajar en presencia permanente de un medio húmedo es imprescindible que a toda la maquinaria se le de una protección superficial para de esta manera incrementar la vida útil de la máquina y evitar perder tiempo y dinero en constantes paradas para dar mantenimiento correctivo a las planchas de acero que conforman la clasificadora.

Los procesos que se detallan a continuación son los seguidos por la Metso Co que a su vez son los de la ISO.

Las normas seguidas son las siguientes:

NORMA	OBSERVACION
SD 45110	Tratamiento estándar de superficies
SS 055900 (ISO 8501-1: 1988)	Preparación de superficies de acero antes de pintura
SS 184160 (ISO/DIS 2808, 6ª)	Determinación de de espesor e pintura en el sustrato metálico

La siguiente tabla corresponde a hoja de proceso de pintura de las superficies de cualquier clasificadora de la Metso y se detalla a continuación:

1. MACHINERY AND EQUIPMENT, EXCLUDING GUARDS

Binder Oxiranester (epoxy oil and polyester)

Fixed parts		Movable parts	
Colour, blue	NCSs 5030 B	Colour, yellow	NCS 1455 Y 70R
Coat thickness: Slurry pumps Process eq. Other eq.	75 µm 75-150 µm 75 µm	Coat thickness: Process eq.	75-150 µm
Finish 70	Bright	Finish 70	Bright

SpecifiCation OF dry coat thicknesses for machines

Flotation Machines	Outer 75 µm Inner	Surfaces in contact w. liquid	150 µm
SETL, Thickeners	Outer 75 µm Inner	Surfaces in contact w. liquid	150 µm
Screw Classifiers, Dewaterers	Outer 75 µm Inner	Surfaces in contact w. liquid	150 µm
LIMS	75 µm		

2. GUARDS

Pre-treatment	Pickling
Surfacing type	Epoxy powder
Colour, yellow	Acc. to standard, closest corr. to NCS 1455 Y 70R
Coat thickness/Colour data	50 µm
Finish 70	Bright

Note: Detailed job description is shown in SP&P AB:s surface treatment standard SD 45110, which can be supplied on request.

CARACTERISTICAS DE LA ACTUAL CLASIFICADORA

Tipo de Clasificadora de Espiras.

La clasificadora de espiras que actualmente se posee es de marca Svadala Arbra tipo 1200x8, fabricada en el año 1982 para el consorcio ABV de Suecia, empresa que utilizó dicha máquina en la construcción de la represas de Agoyán. Tal como se aprecia en la placa de dicha máquina en la Fotografía # 3.1



FOTOGRAFIA # 3.1

Esta nomenclatura nos indica que la lavadora tiene un diámetro de espiras de 1200 mm. y está diseñada para trabajar a una velocidad de 8 RPM y es de

paso simple. Sin embargo, dicha lavadora fue modificada en el juego de poleas para aumentar su velocidad a 10 RPM por el anterior dueño.

La línea de clasificadora de espiras de la marca Svadala fue adquirida por la compañía Metso Minerals, la misma que facilitó los manuales de los clasificadores de espiras que actualmente comercializan, y que según ellos no han variado su diseño de manera sustancial.

Normalmente para seleccionar una clasificadora de espiras uno cuenta con la información del tipo de material que se va a procesar y un estimado de la capacidad de producción que se va a comercializar para poder seleccionar la clasificadora en tamaño del diámetro de espira, el tipo de paso, el tipo de tanque requerido así como el volumen de agua necesario para lavar el material hasta el tamaño de partícula requerida por el cliente. Sin embargo en nuestro caso deberemos trabajar en orden inverso, es decir debemos identificar a que clasificadora se asemeja la que se posee y de allí estimar el nivel la producción que puede trabajar la máquina para obtener arena lavada hasta un 5% de arcilla.

De acuerdo al Gráfico # 3.1 que se presenta a continuación, podemos darnos cuenta de algunas de las dimensiones principales del clasificador como por ejemplo:

Largo L (máquina acostada) = 8.34 m

Altura H (máquina acostada) = 3.1 m

Ancho Tanque W = 3.7 m

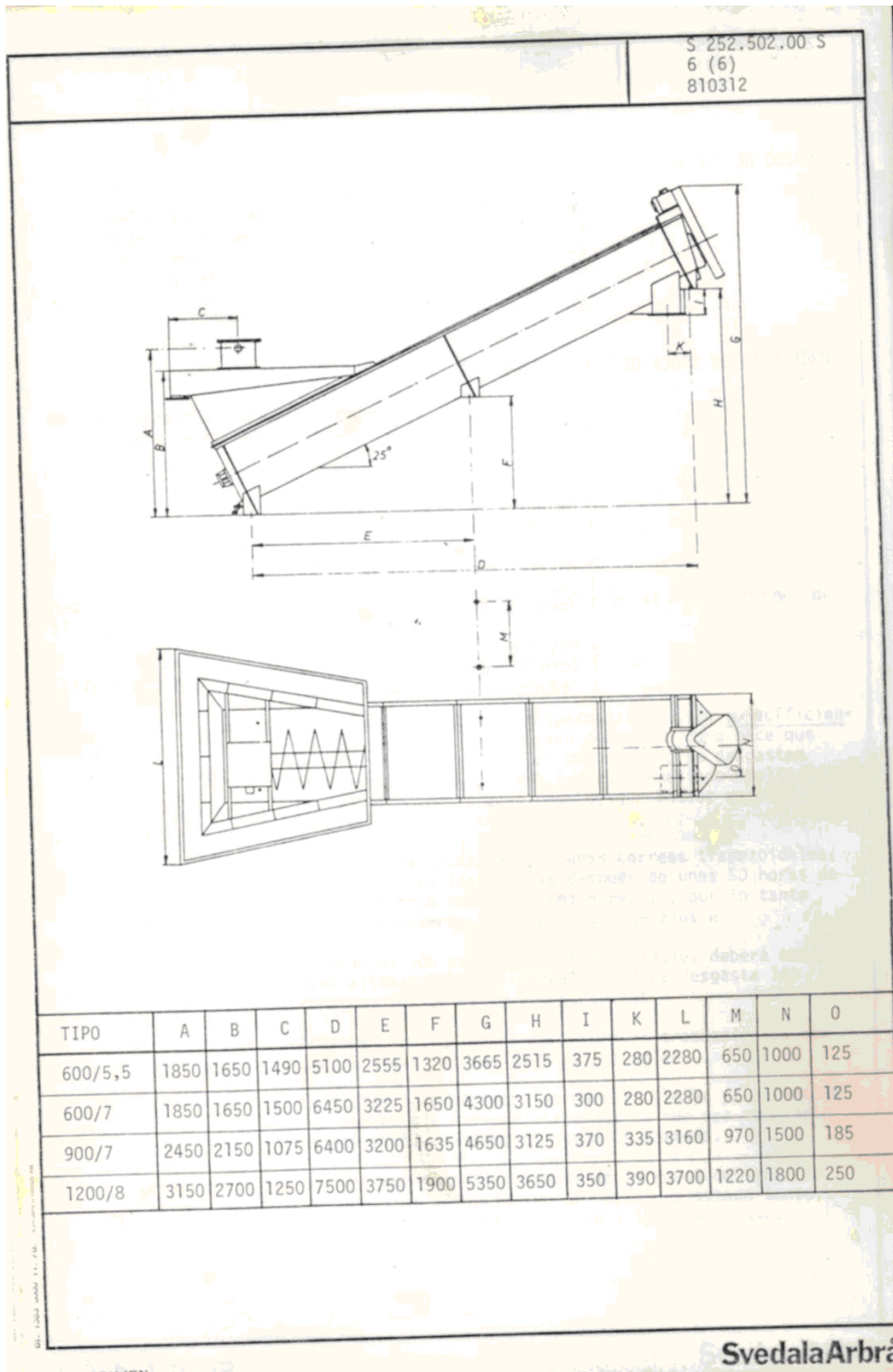


Gráfico 3.1

De tal manera podemos comparar con que modelo de la marca Metso se asemeja más y poder comparar mas adelante con las características mecánicas de la máquina actual.

De los catálogos obtenidos (ver Gráfico 3.2), el modelo mas semejante es el 120 Sh, sin embargo las dimensiones que este modelo presenta son diferentes puesto que si bien el diámetro del tornillo es el que indica,

3.2 Características del material a Clasificar

El material que se va a explotar es una arena extraída directamente de una cantera descubierta, cuyo origen es de tipo volcánico y es de tipo granítico en estado de formación temprana. Por este motivo existen dentro de la cantera de arena verdaderas rocas de granito, las mismas que son conocidas por su gran dureza, razón por la cual antes de ingresar el material al proceso de lavado tienen que ser separadas para no dañar los equipos de clasificación (tanto las zarandas como la clasificadora espiral).

Como se había comentado en los capítulos iniciales, la arena que se comercializa en el mercado de Guayaquil no es de buena calidad, ya que casi ninguna cumple la norma de granulometría de la ASTM, (ver Tabla 3.1) que determina el tamaño de grano que debe de tener la arena para ser utilizada como agregado en mezclas de concreto y de cemento.

**NORMA ASTM DE LA GRANULOMETRIA DE LA
ARENA
PARA SER USADA COMO AGREGADO**

		Especificaciones ASTM	
Tamiz	(mm)	Max	Min
# 3/8"	9,5	100%	100%
# 4	4,75	100%	95%
# 8	2,36	100%	80%
# 16	1,18	85%	50%
# 30	0,6	60%	25%
# 50	0,43	30%	5%
# 100	0,15	10%	0%
Fondo		0%	0%

Tabla 3.1

La prueba consiste en pasar una cantidad determinada de muestra por una serie de mallas de diferente tamaño y calcular el porcentaje de material retenido en cada una de estas mallas. La norma ASTM indica un rango de porcentaje para cada una de las mallas y para que cumpla se cumpla la norma, el material tiene que caer dentro del rango especificado de la norma en cada una de las mallas. La Tabla 3.2 demuestra los valores obtenidos con la muestra de la arena de la cantera ha ser explotada luego de ser lavada.

		Peso Retenido		% Retenido		% Material Pasante	Norma ASTM	
Tamiz	(mm)	parcial	Acumulado	Acumulad o	Individua l		Max	Min
# 3/8"	9,5	0	0	0%	0%	100%	100 %	100 %
# 4	4,75	43,7	43,7	5%	5%	95%	100 %	95%
# 8	2,36	113,2	156,9	17%	13%	83%	100 %	80%
# 16	1,18	191,5	348,4	39%	21%	61%	85%	50%
# 30	0,6	244,1	592,5	66%	27%	34%	60%	25%
# 50	0,43	171,6	764,1	85%	19%	15%	30%	5%
# 100	0,15	97,6	861,7	96%	11%	4%	10%	0%
Fondo		39,3	901	100%	4%	0%	0%	0%
Total		901						

Módulo de
finura: 3,07

Tabla 3.2

Podemos observar que todos los valores de los porcentajes retenidos en cada una de las mallas caen dentro del rango determinado por la ASTM. Esto demuestra que la granulometría de la arena ha ser explotada es ideal para ser utilizada como agregado en concreto.

Se puede observar además el Gráfico 3.2 en que se muestra los límites máximos y mínimos de la Norma ASTM y se observa con absoluta claridad que el material pasante de la muestra de la arena ha ser explotado nunca sobresale de estos límites.

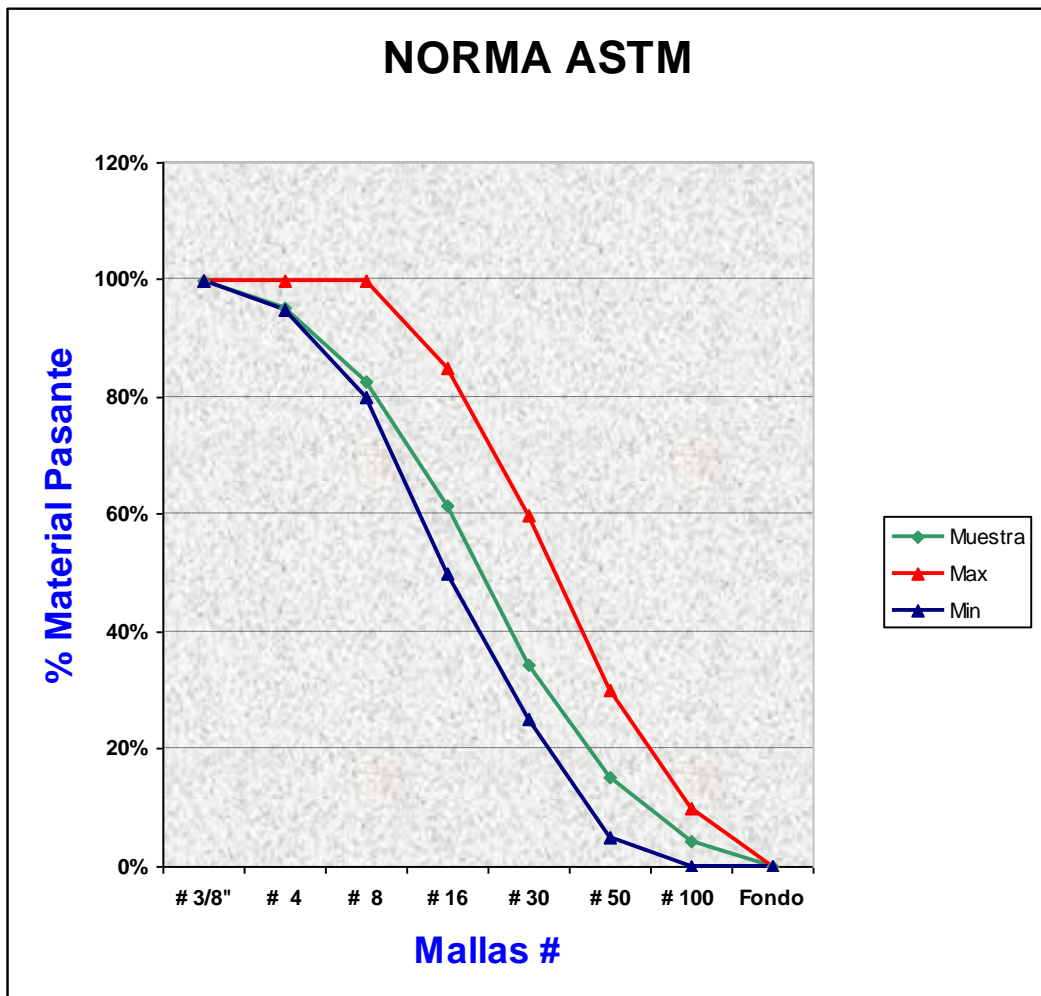


Gráfico 3.2

Existe además otro criterio para calificar la calidad de la arena y es la cantidad de arcilla que esta posee. Para que la arena pueda ser calificada tiene que tener un porcentaje menor al 5% del peso en arcilla. Para evaluar esta característica se toma una muestra y se la pesa, posteriormente se la hace pasara por la malla # 200 y se vuelve a pesar el material retenido. Se asume que el material que pasa la mall # 200 es la arcilla que posee la muestra, por lo tanto el material que queda retenida en la malla tiene que ser mayor al 95% del peso de la muestra.

En el caso de la muestra de arena se efectuó una prueba para determinar la cantidad de arcilla que esta posee y se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso Inicial: 1169.9 gr.

Peso Final: 1005.1 gr.

$$\% \text{ Sin Pasar} = \frac{\text{Peso Final} \times 100}{\text{Peso Inicial}}$$

Fórmula 3.1

$$\% \text{ Sin Pasar} = \frac{1005.1 \times 100}{1169.9}$$

$$\% \text{ Sin Pasar} = 14.09\%$$

La prueba arrojó que la arena sin lavar tiene un 14.09% de arcilla, es por esta razón que se precisa lavar la arena para poder disminuir el porcentaje de arcilla de la misma.

Posteriormente se efectuó una nueva prueba pero con una muestra que había sido lavada previamente y arrojó el resultado siguiente:

Peso Inicial: 1142.4 gr.

Peso Final: 1101.3 gr.

$$\% \text{ Sin Pasar} = \frac{\text{PesoFinal} \times 100}{\text{PesoInicid}}$$

$$\% \text{ Sin Pasar} = \frac{101.3 \times 100}{1142.4}$$

$$\% \text{ Sin Pasar} = 3.59\%$$

De esta manera se comprobó que solamente con el hecho de someter a la muestra a un proceso de lavado el porcentaje de arcilla disminuía hasta quedar dentro de los parámetros de la Norma ASTM.

La arena tiene además una serie de características mecánicas que son tabuladas en la Tabla 3.2

Características Mecánicas de la Arena

Densidad Aparente	2512	gr/cm ³
Densidad saturada sumamente seca	2569	gr/cm ³
% Absorción	2,30%	
Masa Unitaria Suelta	1460	
% Vacíos	40,78%	
Módulo de Finura:	3,07	

Tabla 3.2

Vale la pena recalcar que pese a que el material es de tipo granítico, no es un material duro ya que en como se encuentra en un estado de formación temprana hace que este se encuentre en forma de cómo vetas que son fácilmente compresibles. Es un material tan suave que basta solamente el peso de las orugas de los tractores para que este quede en forma completamente granular. Obviamente eso no pasa con las rocas graníticas

que se encuentran ya formadas, estas sí son muy duras y simplemente hay que retirarlas del proceso para no dañar las máquinas involucradas en el lavado.

3.3 Formas de Seleccionar una Clasificadora

La selección de un clasificador de espiras es un proceso que consta de tres partes. Primero hay que seleccionar el diámetro de la espira, calcular la eficiencia del rastrillo de la arena y su velocidad de rotación para procesar la cantidad de material predicha del producto lavado. Segundo hay que seleccionar el área de pozo overflow para poder seleccionar el punto de corte correcto a la tasa de alimentación predicha y la densidad de flujo. Y finalmente hay que calcular el área de pozo de compresión de la fracción gruesa. A medida que se sedimentan en el estanque clasificador, estas partículas se hunden a una tasa de reducción constante (teoría de sedimentación obstruida). Para evitar la formación de partícula que sean demasiadas pequeñas para hundirse hasta el fondo y demasiado grandes para fluir hasta el vertedero se tiene que calcular el área de depósito de compresión.

Para proceder a efectuar estos tres pasos hay que primeramente definir el proceso mediante la elaboración de un diagrama de balance de masas. En donde dejaremos claramente definidas las cantidades de material y de agua que entran al proceso, así como las cantidades de agua y material que salen como desperdicio y que siguen como parte del proceso. Este diagrama es importantísimo que se le efectúe de la mejor manera puesto que este detalla de

una forma esquemática el proceso que sigue la materia prima y como se distribuye en material de proceso y en desperdicio.

El Gráfico 3.3 nos da una idea de un diagrama de balance de masas considerando además las unidades en que se han de procesar los datos.

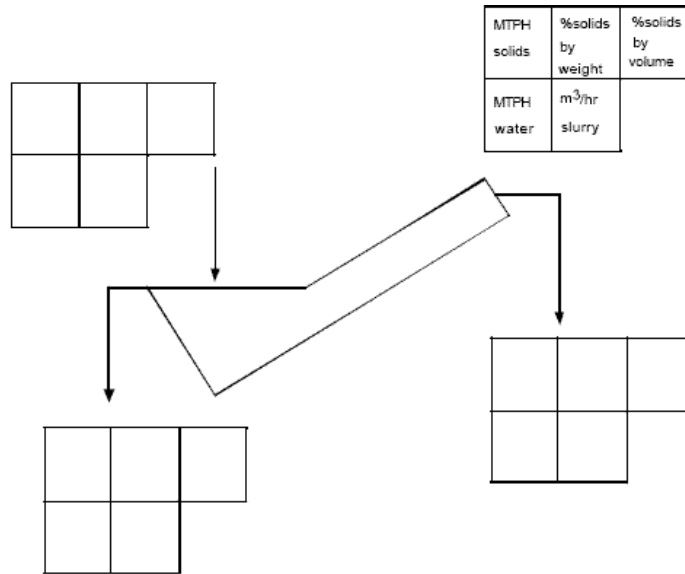


GRAFICO 3.3

Hay ciertas consideraciones que se deben de tener para llenar este cuadro:

1. La cantidad de material a procesar es un dato que yo lo debo de tener o estimar. Obviamente yo debo de conocer la capacidad de producción de mi planta o del mercado y en función de ello yo voy a seleccionar una máquina de acuerdo a mis necesidades de producción.
2. Siempre se sugiere que el % de Sólidos por Volumen de la mezcla este entre 10 y 15%. Para lograra una clasificación eficiente, es importante que la densidad de alimentación sea lo mas baja posible (de partículas

en movimiento). La presión de alimentación influirá en el punto de corte, a mayor presión menos punto de corte.

- 10-15% Sólidos por Volumen: Buena Eficiencia
- 15-30% Sólidos por Volumen: Baja Eficiencia
- <30% Sólidos por Volumen: Ineficiente

3. Se recomienda además que el porcentaje de Sólidos por peso en la descarga del material lavado sea de un 80%
4. Hay que tener bien claro hasta que tamaño de partícula se desea lavar el material.

Para seleccionar el tamaño de la espira hay primeramente que seleccionar la velocidad periférica de la espira y la eficiencia del rastrillo.

La velocidad periférica se escoge para evitar que el espiral funcione demasiado rápido causando una turbulencia excesiva en la zona de separación o de reducir el tiempo de drenaje para la fracción gruesa.

La eficiencia del rastrillo de arena refleja el hecho de que un espiral no es 100% eficiente como dispositivo de transporte y algunas partículas tenderán a devolverse a lo largo del tornillo, especialmente cuando se procesan materiales en húmedos o finos

La selección de la Velocidad del espiral y la eficiencia se efectúa con la Tabla 3.2, donde tenemos que entrar con el tamaño

Particle size mm	SAND RAKING EFFICIENCY AND SPIRAL SPEED*							
	Specific gravity							
	2.0		3.0		4.0		5.0	
	m/s	Eff. %	m/s	Eff. %	m/s	Eff. %	m/s	Eff. %
0,3 - 12,7	0,4	75	0,45	80	0,55	90	0,55	95
0,1 - 12,7	0,35	70	0,4	75	0,45	75	0,55	80
0,1 - 0,6	0,35	67	0,35	70	0,35	75	0,4	80
0,075 - 0,6	0,35	60	0,35	67	0,35	70	0,35	70
0,075 - 0,3	0,35	50	0,35	60	0,35	67	0,35	70
0,045 - 0,2	0,3	50	0,3	60	0,35	60	0,3	50

* As flight tip speed

TABLA 3.2

El siguiente paso consiste en encontrar la capacidad corregida del rastrillo mediante la fórmula:

$$CCR = \frac{\text{Cap del Rast (TPH)}}{\text{Eficiencia Espira}} \times \frac{2,65}{S.G.Material} \quad \text{Fórmula 3.2}$$

Donde:

CCR: Capacidad Corregida del rastrillo en TPH

Cap del Rastri: Capacidad del rastrillo real TPH

S.G. Material: Gravedad específica del material a ser transportado.

Una vez obtenida la capacidad de carga corregida del rastrillo (TPH), ingresamos a la Tabla 3.3, la que nos relaciona la capacidad de carga, RPM de la espira y si es de paso simple o paso doble (1 o 2 espiras)

Hasta aquí se completa la primera parte de la selección del diámetro, el paso y la rotación de la espira.

La segunda parte contempla en cambio la selección del área de la piscina o pozo de derrama y el área del pozo de compresión de la fracción.

Primeramente debemos calcular el tamaño de la partícula equivalente. Todas las áreas de depósito se calculan suponiendo un SG de partícula 2,65. Si la gravedad específica del material que se va a analizar es algo diferente, se debe hacer una corrección utilizando la Ley de Store, para ello debemos de obtener el factor de corrección con la fórmula:

$$Factor = \sqrt{\frac{SG - 1}{1.65}}$$

Fórmula 3.3

Con el valor de tamaño de partícula equivalente podemos entrar ahora a la Tabla 3.4, la que nos va a dar la tasa de sedimentación de partícula. Para usar esta tabla debemos además sacar del balance de masas el porcentaje de sólidos por volumen de la mezcla en la alimentación de la clasificadora. Esta tabla nos provee curvas para diferentes porcentajes de sólidos por volumen, si el valor exacto no se encuentra graficado podemos aproximarla a la curva mas cercana, si la diferencia no es mucha, aunque lo mas correcto es interpolar el valor entre las curvas conocidas.

SETTLING RATE VS. PARTICLE SIZE AT VARIOUS VOLUME PERCENTS SOLIDS

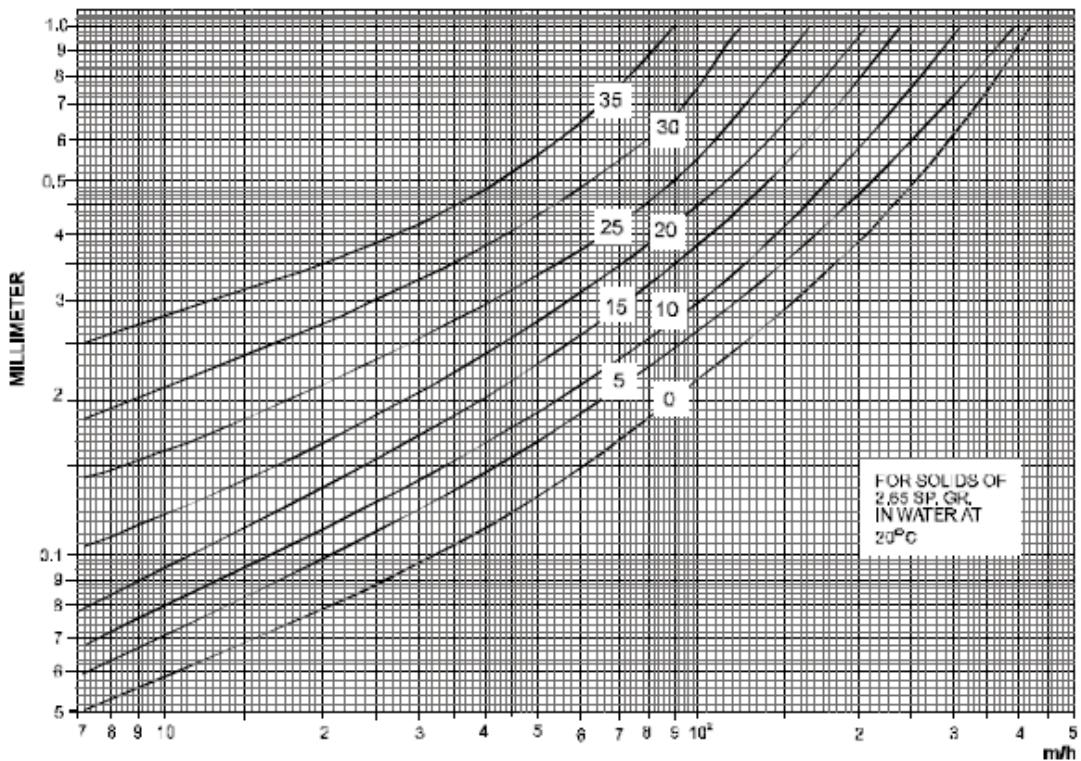


TABLA 3.4

Para poder calcular el área overflow tenemos que utilizar la siguiente fórmula:

$$A_{overflow} = \frac{Tasa.Derr.(m^3 / h)}{0,7 \times Tasa Sed.(m/h)} \quad \text{Fórmula 3.4}$$

Donde:

A_{overflow}.- Es el área en m² donde se produce el vaciado o overflow

Tasa Derr.- Es la tasa de overflow o derrame de la lavadora en (m³/h), sacada del balance de masas

Tasa Sed.- Es la tasa de sedimentación del material, sacada de la tabla 3.4

El valor de 0,7 es un factor de corrección introducido por el movimiento de la espira

Para calcular el área de depósito de compresión debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$A_{\text{compresión}} = \frac{\text{Volumen de compresión de arena gruesa al 40\%}}{0.7 \times 0.8 \times \text{Tasa Sed. (m/h)}}$$

Fórmula 3.5

Para hallar el volumen de compresión de arena gruesa al 40% hay que dividir el Tonelaje en seco del material lavado para (SG x 0.4). La tasa de sedimentación es la misma que se obtuvo de la Tabla 3.4 El factor 0.7 es el mismo que aparece en la fórmula anterior y el factor 0.8 se asigna al área de depósito más pequeño posible a nivel de compresión, es una constante.

De estos dos valores obtenidos, tomamos el mayor y entramos en la Tabla 3.5 para seleccionar el tipo de tanque que requiere la clasificadora, quedando seleccionada la máquina.

3.4. Balance de masas de la clasificadora con las condiciones tentativas de uso.

Como se ha mencionado anteriormente, nuestro caso difiere de la selección normal de la clasificadora debido a que la máquina ya se la posee en la actualidad, es decir que fue seleccionada anteriormente para trabajar bajo unas condiciones que no se conocen hoy en día.

El proceso que tenemos que seguir es básicamente ir en sentido contrario a los pasos estipulados para seleccionar la clasificadora.

Inicialmente tenemos que establecer cual modelo es el que mas asemeja a la máquina que se posee, determinar su productividad y posteriormente confirmar que esa máquina si puede clasificar la arena que se analiza en este trabajo.

Luego se calcula la eficiencia de arrastre de la arena. Esta eficiencia la obtenemos de acuerdo a la Tabla 3.2, ingresando con la gravedad específica del material a ser transportado y el tamaño mínimo a ser transportado.

En este caso la gravedad específica de la arena es de 2,5. El 96% del material tiene una granulometría que se encuentra entre 0,15 y 10 mm, por tal motivo entramos a la tabla 3.2 con los valores de la 2ª fila.

Interpolando tenemos los siguientes valores:

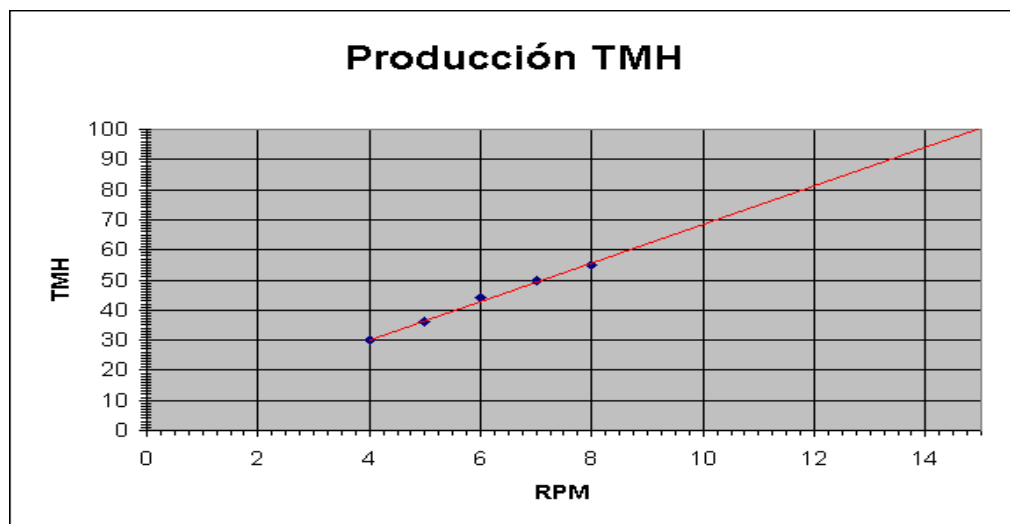
Velocidad de espira:	0.375 m/s
Eficiencia:	72.5%.

La clasificadora esta confirmada, por medio de la placa, que es un modelo 1200x8 de paso simple. Es decir que tiene un diámetro del tornillo de 1200 mm y que gira a 8 RPM siendo de paso simple, es decir de una sola

espira. Cabe recalcar que los anteriores dueños hicieron un cambio en el diámetro de las oleas para aumentar la velocidad de la espira a 10 RPM.

De acuerdo a la Tabla 3.3 podemos darnos cuenta que la capacidad de transporte de esta clasificadora es de 55 TPH. Se debió elaborar una nueva tabla para verificar que la relación entre producción y RPM sea lineal y poder extrapolar. Al realizar el Gráfico 3.4 se verificó que la relación es lineal y al extrapolar la producción a 10 RPM obtuvimos una producción de 68 TPH. Como la producción de la cantera no es nuestro limitante en el proceso, este valor de 68 TPH es el valor da capacidad de carga ya corregida

RPM	4	5	6	7	8	10
T/H	30	36	44	50	55	68*



Al utilizar la Fórmula 3.2, obtenemos que la producción real es 46,50 TPH.

Previo a efectuar el balance de masas, se realizó una prueba en campo donde se pudo comprobar que el material al ser lavado perdía apenas 8,2% del peso original, es decir que ese porcentaje se iba como desperdicio en el overflow. Y se comprobó además que la relación entre agua y sólidos del material lavado era de 1:5, con lo que se corroboraba lo que la tabla sugería de que el porcentaje en peso del agua del material lavado es aproximadamente de 20%.

Con estos valores y consideraciones se realizó el Gráfico 3.5.

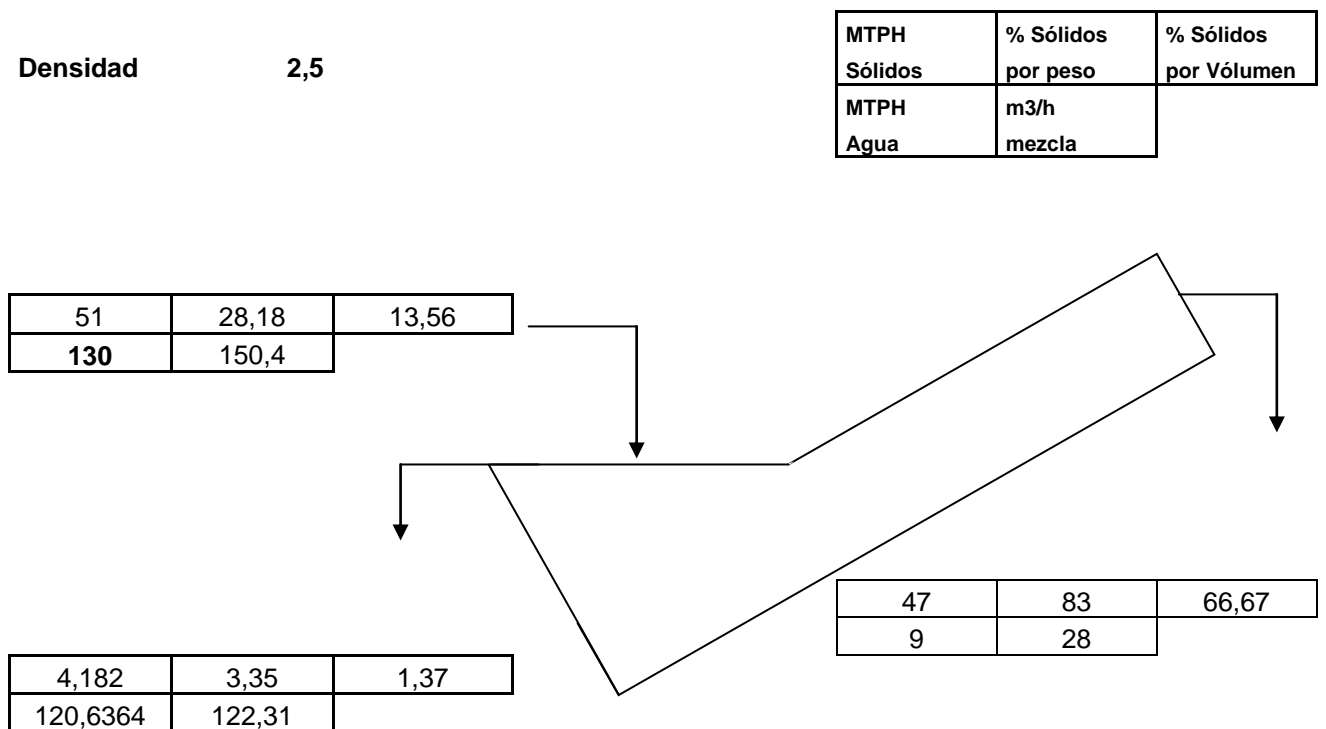


GRAFICO 3.5

Podemos observar de este gráfico que el balance de masas de agua y material se mantiene entre la entrada y salida de la mezcla y material lavado.

Además la cantidad de agua que hay que ingresar al sistema es de 130 TPH, de esta manera el porcentaje de sólidos por volumen se mantiene en el rango de 10-15%, recomendado por los fabricantes.

También podemos obtener la cantidad de materia prima que hay que ingresar a la lavadora, que en este caso es de 51 TPH.

El siguiente paso que tenemos que efectuar es el de comprobar que el tanque que se tiene sea de un área tal que permita efectuar la separación del material sin ningún inconveniente.

Primeramente calculamos el tamaño de partícula equivalente con la Fórmula 3.3

$$Factor = \sqrt{\frac{SG-1}{1.65}}$$

$$Factor = \sqrt{\frac{2.5-1}{1.65}}$$

$$Factor = 0.95$$

Al multiplicar el tamaño de partícula de 150 μ por el factor 0,95 , obtengo el tamaño de partícula equivalente con el que voy a trabajar en las tablas que en nuestro caso es de 142,5 μ .

Al entrar a la tabla 3.4 con el valor de 0,1425 mm y 13,56% de sólidos por volumen obtenemos que la tasa de sedimentación es de 103 m/h.

Con este valor calculamos con la fórmula 3.4 el área de overflow:

$$A_{\text{Overflow}} = \frac{\text{Tasa.Derr.}(m^3/h)}{0,7 \times \text{Tasa Sed.}(m/h)}$$

$$A_{\text{Overflow}} = \frac{122.(m^3/h)}{0,7 \times 103.(m/h)}$$

$$A_{\text{Overflow}} = 1.69 \text{ m}^2$$

Ahora calculamos el área de depósito de compresión usamos la fórmula 3.5

$$A_{\text{compresión}} = \frac{\text{Volumen de compresión de arena gruesa al 40\%}}{0.7 \times 0.8 \times \text{Tasa Sed. (m/h)}}$$

$$A_{\text{compresión}} = \frac{\frac{47}{2.5 \times 40\%}}{0.7 \times 0.8 \times 103 (m/h)}$$

$$A_{\text{compresión}} = 0.82 \text{ m}^2$$

Tomando el valor de área mayor y comparando con los de la Tabla 3.5 podemos darnos cuenta que el área de depósito de esta lavadora esta sobredimensionada con respecto a los datos obtenidos. Ya que el área de la clasificadora de 1200 mm de diámetro mas pequeña es la de estanque recto con un área mínima de 4,3 y máxima de 5,7 m²

3.5 PRODUCTIVIDAD DE LA LAVADORA

Con los datos obtenidos, podemos confirmar que la productividad de la lavadora es de 47 TMPH de material seco lavado.

Además es importante señalar que debido a que el área de depósito de compresión y de overflow esta siendo subutilizada, podemos tranquilamente aumentar la productividad de la máquina incrementando las RPM, en una prueba de campo de prueba y error para determinar hasta que punto la máquina aumentando sus RPM aumenta la producción sin ser ineficiente.

Aparentemente existe un margen amplio con que jugar con estas variables, para aumentar la productividad, pero teniendo siempre en cuenta dos criterios, que efectivamente existe un sobredimensionamiento de el área que lo podemos utilizar clasificando mas material pero en contraposición , la única manera de sacar mas material es aumentando las RPM de la espira y esto puede a larga ocasionar turbulencias que vayan a aumentar la ineficiencia de la lavadora.

4. MANTENIMIENTO Y MONTAJE DE LA CLASIFICADORA

4.1. Situación actual de la clasificadora

La clasificadora de espiras del proyecto ha estado cerca de 15 años sin ser utilizada y ha estado expuesto a un ambiente agresivo, ya que ha estado todo este tiempo a la intemperie y mas que nada a un ambiente cargado de excesivo polvo, debido a se ubicó esta clasificadora a unos 500 metros de la zona de despacho de la cantera.

Actualmente el equipo no posee motor, el mismo que era uno de 25 HP T.E.F.C. Adicionalmente tiene un sistema de reducción constituido en un sistema de poleas y de un reductor. El juego de poleas ha sido cambiado de tal manera que se le ha aumentado la velocidad de giro de la espira de 8 RPM que es la velocidad de diseño de la espira a 10 RPM. Obviamente se ha tenido que adaptar otro juego de bandas ya que las longitudes de estas cambian. En lo que respecta al reductor, aparentemente se encuentra en buen estado, sin embargo hay que abrirlo para efectuar un mantenimiento completo y determinar el estado del mismo, revisando los engranajes, aunque no se espera encontrar ninguna novedad mayor. Hay que cambiar lógicamente el aceite del reductor, así como los sellos de los mismos.

La estructura no presenta mayor desgaste por corrosión, (ver fotografía #2) por lo que podríamos decir que se encuentra en un buen

estado sin embargo hay que efectuar un tratamiento de sand blasting a toda la superficie de la estructura de la lavadora. Además hay que construir una pequeña tolva de alimentación a la entrada de la lavadora, el cual no existe en la actualidad, así como en la descarga. Adicionalmente existen en la zona de alimentación varios perfiles que se encuentran doblados seguramente por alguna mala maniobra en el momento de transporte o de desmontaje, los mismos que deben ser enderezados. Posteriormente hay que hacerle un tratamiento de colocación de pintura con un espesor 75 u con la observación de que las partes que tienen contacto con agua deben de tener un espesor de 150 u



FOTOGRAFIA # 4.1

La superficie de la estructura de la lavadora, tomando en cuenta a las superficies como dobles ya que hay que efectuar el proceso en ambas caras de la superficie, es de **140.16 m²**. de acuerdo a las dimensiones del Gáfico # 1

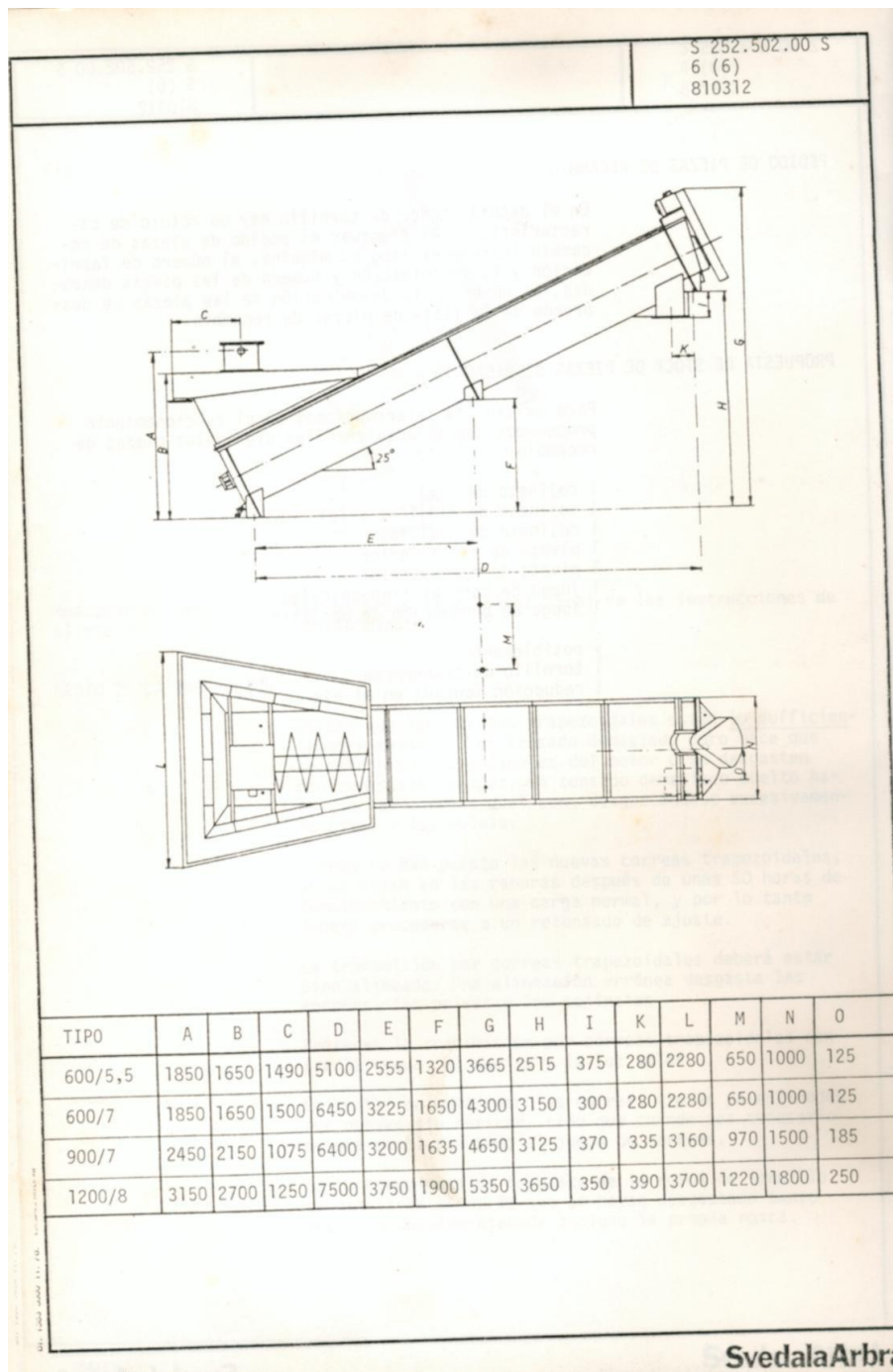


GRAFICO # 4.1

En lo que respecta a la espira, hay que cambiar los dos rodamientos, ya que debido a que la máquina ha estado tanto tiempo sin ser utilizada los rodamientos tienen que haberse asentado y por ende ya hay que cambiarlos. Además hay que verificar el estado del cojinete de caucho del extremo inferior de la espira, ya que debido a que ha estado bajo el sol, el caucho puede haber perdido sus cualidades mecánicas.

La zona de transporte de material se encuentra en la actualidad con material pétreo debido a los inviernos que ha soportado la lavadora se ha ido acumulando dicho material, en ciertos puntos existe una altura hasta de 20 cm de acumulación de lodos. También hay que efectuar un tratamiento de sand blasting y de colocación de pintura a toda la espira puesto que esta presenta varios puntos de principios de corrosión los mismos que deben ser tratados. Además hay que efectuar un reajuste a todos los cauchos que protegen la superficie frontal de la espira del desgaste por contacto con el material que se está lavando. (Ver Fotos # 3, 4 y 5)



FOTOGRAFIA # 4.2



FOTOGRAFIA # 4.3



FOTOGRAFIA # 4.5

Adicionalmente hay que efectuar el cambio del cilindro hidráulico ya que el sistema no ha estado cerrado permitiendo que entre humedad y polvo por lo que es casi seguro que el cilindro actual ya no sirva. Aparte hay que efectuar un mantenimiento de la bomba manual de alta presión, así como adquirir un manómetro de 5000 Psi y comprar varios metros de manguera de alta presión.

4.2. Costos de mantenimiento

El detalle de todo el trabajo de mantenimiento esta tabulado en la Tabla 4.1 que se presenta a continuación:

Trabajo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sand Blasting	m2	140,16	\$6,00	\$840,94
Pintura	m2	140,16	\$2,00	\$280,31
Rodamiento	unid	1	\$473,00	\$473,15
Rodamiento	unid	1	\$751,00	\$751,22
Amortiguador	unid	1	\$68,22	\$81,87
Platina	unid	1	\$180,00	\$180,00
Tornillos	unid	100	\$0,50	\$50,00
Pernos	unid	100	\$0,50	\$50,00
Bandas	unid	5	\$15,00	\$75,00
Motor 25 HP	unid	1	\$673,20	\$673,20
Manguera para agua	m	8	\$5,00	\$40,00
Cilindro hidraulico	1	1	\$420,00	\$420,00
Bomba Manual Mantenimiento	1	1	\$180,00	\$180,00
Manómetro	1	1	\$45,00	\$45,00
Manguera hidráulica alta presión	m	4	\$16,30	\$65,00
Total				\$4.205,69

TABLA 4.1

Se agruparon estos valores en dos Items de acuerdo a al origen del gasto, al primero se lo denominó Mantenimiento e incluye todos los valores que inciden dentro del costo de un mantenimiento normal de cualquier equipo sin contar los repuestos o maquinarias, es decir el costo del sandblasting y pintura, los costos de las platinas que hay que cambiar, el costo de los amortiguadores o tolvas de alimentación y descarga, así como pernos y tornillos, mangueras hidráulicas de alta presión, perfiles, etc. En otro rubro llamado Repuestos se colocaron los costos de los equipos o repuestos que hay que incurrir para dejar operativa la clasificadora, es decir: el precio del motor, del cilindro hidráulico, de la bomba manual hidráulica y del manómetro

Estos valores los tabulamos en la Tabla 4.2 y podemos darnos cuenta que el costo de los repuesto representa el 65% del costo total de los trabajos necesarios para dejar operativa la clasificadora.

	Monto	Porcentaje
Mantenimiento	\$1.663,35	40%
Repuestos	\$2.542,57	60%
Total	\$4.205,92	

Tabla 4.2

Los montos señalados en las tablas no incluyen IVA .

A estos valores hay que sumar los de mano de hora hombre herramienta el mismo que es de USD 5/ hora/hombre y se encuentra detallado en la Tabla 4.3

Equipo de Trabajo

Costo Hora Hombre	\$5,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	10	

**Costo Total Horas
Hombre**

\$2.000,00

Dirección Técnica

Costo obra \$6.205,92

10% Costo de Obra \$620,60

Tabla 4.3

El valor total del mantenimiento de la lavadora, incluido los costos de material y mano de obra es de

USD 6.826.51.

4.3. Costos de Montaje

Una vez que se haya efectuado el mantenimiento de la lavadora, hay que proceder al montaje de la misma y a la puesta a punto de la misma.

En lo concerniente al montaje, se ha estimado este costo asumiendo que los sistemas eléctricos y de ingeniería civil ya estén listos. Así mismo el montaje del sistema de bombeo se considera aparte y su costo no influye en los rubros que se mencionan en este capítulo.

Debido a que el peso de la clasificadora es de 7,5 Tons de peso bruto, es necesaria la utilización de una grúa que nos ayude en la manipulación del equipo durante el montaje del mismo en los cimientos respectivos, estimándose que se necesitarán de 6 horas para este trabajo.

Para efectuar todo el trabajo de montaje se estimó necesario un equipo conformado por 5 mecánicos que laboren durante cuatro días en el montaje, calibración y puesta a punto de la clasificadora.

Además se estimó nuevamente un 10% de la obra en mención como gasto de dirección técnica para el ingeniero que supervise las maniobras y el montaje.

El detalle de los costos se presenta a continuación en la Tabla 4.4

Equipo de Trabajo

Grúa 20 TM	\$40,00	c/h
horas a laborar	6	horas
Costo grúa 20 Tm	\$240,00	
Costo Hora Hombre	\$6,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	4	

Costo Total

Horas Hombre \$1.200,00

Dirección Técnica

Costo obra \$1.200,00

10% Costo de Obra \$120,00

Costo Total Montaje	\$1.320,00
----------------------------	-------------------

Tabla 4.4

El costo total del montaje y puesta a punto es de \$ 1.320,00.

En todos los valores de costo de mano de obra expuestos aquí no se contempla el valor de IVA.

El costo total del mantenimiento y montaje de la clasificadora es:

Costo Total Lavadora	\$8.146,26
-----------------------------	-------------------

CAPITULO 5.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA Y DE PISCINAS DE DECANTACION

5.1. Selección de un sistema cerrado de lavado

Como podemos analizar en el Gráfico 3.5 podemos darnos cuenta que el agua es una parte fundamental en el proceso de lavado de material pétreo.

En nuestro balance de masas calculamos que hay que bombear 130 TM/h, es decir 130 m³/h, como podemos darnos cuenta, esta cantidad de agua es un volumen considerable como para ser despreciado en el análisis del proceso.

Tenemos por tanto que considerar el suministro de agua dentro de los parámetros de selección del lugar para ubicar la planta, así como hay que considerar el bombeo de esta materia prima del proceso dentro de los costos de producción.

Igualmente tenemos que 9 TM/h (9 m³/h) de agua salen de la lavadora mezclados con la arena lavada y 121 TM/h (121 m³/h) de agua salen como overflow. La arena mezclada con agua no es

problema, puesto que parte se va a evaporar con el ambiente y el resto se la comercializa con la arena misma, esta práctica es común en la venta de arena ya que siempre se la vende húmeda. El parámetro que tenemos que considerar es el hecho que los 121 TM/h (121 m³/h) de agua que sale como desperdicio hay que eliminarlas de alguna manera del proceso. También hay que recordar el hecho que este material trae una mezcla de 1,37 TM/h de arena, por lo que no se las puede eliminarlas directamente a ningún río sin que esta agua de desecho sea previamente tratada y de esta manera impedir que caiga sobre la empresa alguna multa por impacto ambiental.

La forma mas eficiente de tratar esta aguas y optimizar el proceso es diseñar un proceso de circuito cerrado de utilización de aguas. Es decir que la misma agua que sale como desperdicio en el overflow de la lavadora se la canaliza hasta una piscina de decantación para que los sólidos que trae esta agua se sedimenten y el agua este nuevamente lista para ser utilizada.

De tal manera que necesitaríamos solamente dos bombas para el sistema de lavado, una que lleve el agua desde la piscina hasta la lavadora y otra que complete el volumen en la piscina del agua perdida en la arena lavada.

Adicionalmente hay que seleccionar otra bomba pequeña que tiene como función lubricar un cojinete de caucho que se encuentra en el extremo inferior de la espira, esta bomba según el manual tiene que darnos entre 1 y 1,5 Kg /cm²

5.2. Selección de bombas y tuberías para alimentar lavadora y cojinete inferior.

Primeramente vamos a seleccionar la bomba que va alimentar la lavadora.

Inicialmente hay que establecer los parámetros que existen para este sistema de bombeo:

1. La piscina se ha escogido a una cota 5 metros por debajo de donde se va a ubicar la lavadora.
2. Existe una distancia de 35 metros entre la lavadora y la piscina, la misma que representa la longitud de la tubería que hay que montar.
3. Debe de existir dentro la línea de tuberías una válvula que permita en última instancia controlar el flujo que ingresa a la lavadora.
4. Además hay que contemplar 2 codos de 45 grados y 3 de 90 grados para completar el trazado de la línea de tuberías.

5. Se ha escogido que la tubería que se va a utilizar sea de plástico.
6. El diámetro de la tubería es de 4 pulgadas
7. El agua que se bombeará estará a 25°C

Se escogió montar la línea de tuberías con tubos plásticos ya que son más baratas que las de acero y además a que estas no van a soportar altas presiones ni grandes esfuerzos mecánicos. Actualmente existen tuberías plásticas diseñadas para soportar altas presiones, además que no hay que preocuparse de ellas en cuanto a protecciones antioxidantes o pinturas. Son fácilmente manipulables y sus conexiones roscadas soportan igualmente grandes presiones de trabajo, de esta manera tampoco hay que preocuparse de la soldadura de las conexiones. Adicionalmente tienen buenas rugosidades, a pesar de no ser tan lisas como las de acero.

El caudal que necesitamos bombear a la lavadora es de 130 m³/h de agua y el diámetro de abertura del tubo de ingreso es de 4". De acuerdo a esta información podemos sacar la velocidad media del fluido a lo largo de la línea de tubería, de acuerdo a la ecuación 5.1:

$$Q = Av \quad \text{Fórmula 5.1}$$

Donde Q es el caudal en m³/s

A es el área en m²

V es la velocidad media en m/s.

Calculando en base a esta información obtenemos que la velocidad media es de 2,85 m/s.

Con esta información se procede a calcular las pérdidas mayores y menores en términos de altura piezométrica para seleccionar la bomba mas adecuada para esta función.

Primeramente debemos calcular el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds del fluido con la velocidad media obtenida.

Con una temperatura de 25°C la viscosidad cinemática del agua es de $8,5 \times 10^{-7}$ m²/s, ver Gráfico 5.1, y de acuerdo a la Fórmula 5.2

$$Re = \frac{VxDx\rho}{\mu} = \frac{VxD}{\nu} \quad \text{Fórmula 5.2}$$

Donde:

V: velocidad media en m/s

D: diámetro de la tubería en m

ρ : densidad del fluido en Kg./m³

μ : viscosidad cinemática en m²/s

ν : viscosidad dinámica o absoluta Kg .s/m²

Se obtiene un número de Reynolds de $4,26 \times 10^{-5}$

La rugosidad de la tubería es de 0,007 mm y de acuerdo a la fórmula 5.3 obtenemos la Rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

Fórmula 5.3

Rugosidad Relativa = 0,000055.

Con este valor y el Número de Reynolds, entramos al Gráfico 5.2 y encontramos el coeficiente de rozamiento f , el mismo que vamos a utilizarlo en todas las fórmulas de pérdidas. El mismo que es:

$$f=0.0155$$

La diferencia de presión entre ambos tubos se la va hallar en términos de la altura piezométrica, es decir la altura a la que hay que elevar el fluido sumada a todas las pérdidas en la línea, tanto las mayores ocasionadas por la fricción con la tubería, como las menores, ocasionadas por codos, contracciones, válvulas, factores de admisión y de descarga.

Es decir que la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\Delta P = H + \frac{V^2}{2g} + \text{Pérdidas Mayores} + \text{Pérdidas Menores}$$

Fórmula 5.4

Las pérdidas mayores vienen dadas por la Fórmula 5.5.

$$\text{Pérdidas Mayores (} h_f \text{)} = f \frac{LV^2}{D2g} \quad \text{Fórmula 5.5}$$

$$\text{Pérdidas Mayores (} h_f \text{)} = 1,771 \text{ m}$$

Mientras que las pérdidas menores están dadas por la suma de las diferentes pérdidas, que en nuestro caso están dadas por el tipo de admisión y de descarga. Donde las pérdidas ocasionadas por la forma de la entrada y descarga obedece a la Fórmula 5.6.a :

$$\text{Pérdida Menor (} h_{lm} \text{)} = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Fórmula 5.6 a}$$

Las pérdidas ocasionadas por los codos de 90° y 45° y por la válvula es igual que la ecuación anterior, con la diferencia que hay que multiplicarlo por el coeficiente de rozamiento de la tubería, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida Menor } (h_{lm}) = K f \frac{V^2}{2g} \quad \text{Fórmula 5.6 b}$$

De acuerdo a la Tabla 5.1 los diferentes coeficientes de pérdidas son:

Coeficientes de Pérdidas Menores		
Motivo	Tipo	Coeficientes
Entrada **	Reentrante	1
Salida **	Tubo Saliente	1
Válvula de Compuerta*	3/4 Abierta	35
Codo de Servicio*	90°	50
Codo de Servicio*	45°	26

Basado en

$$* h_f = f K \frac{V^2}{2g}$$

$$** h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

Tabla 5.1

Al computar estos coeficientes en las fórmulas obtenemos las pérdidas menores totales tabuladas en la Tabla 5.2

Pérdidas Menores			
Motivo	Cantidad	Pérdida Unit.	Pérdida Tot.
Entrada +	1	0,415	0,415
Salida +	1	0,415	0,415
Válvula de Compuerta*	1	0,225	0,225
Codo de Servicio 90°*	3	0,321	0,964
Codo de Servicio 45° *	2	0,167	0,334
TOTAL			2,352

Basado en

$$* h_f = f K \frac{V^2}{2g}$$

$$** h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

Tabla 5.2

Con lo que obtenemos una Pérdida menor Total de 2,352 m que sumadas a las Pérdidas mayores nos ocasiona una Pérdida Total de 4,123 m.

Ingresando esto a la ecuación original tenemos entonces que la diferencia de presión en altura piezométrica es de:

$$\Delta P = 10 + 0.414 + 4.123$$

$$\Delta P = 14.537 \quad m$$

Con esta altura piezométrica y el caudal de 130 m³/h se selecciona la bomba mas eficiente entrando a la curva de desempeño de bombas, ver Gráfico 5.3 , y se selecciono una bomba marca Goulds Modelo 10AI/Bf de 10 BHP con una eficiencia de cerca del 82%.

Para la bomba que lubrica el cojinete inferior de la espira, se seleccionó una bomba Goulds JB05 de ½ HP monofásica de 115-230V. La misma que cumple las condiciones de presión de 1,5 Kg/cm². Es muy importante tener en cuenta esta presión ya que si este valor es menor a 1 Kg/cm² puede ocurrir que el agua con lodo entre dentro del cojinete de caucho y comience a ocasionar ineficiencia en el sistema, además de provocar desgaste en los componentes metálicos del cojinete. En cambio si la presión del agua que ingresa es superior a los 1,5 Kg/cm² puede ocurrir que desplace o sople al cojinete de caucho con lo que la espira no tendría como rotar.

La selección de esta bomba no representa mayor problema, además que por su consumo de energía no es precisamente el equipo eléctrico a tener mayor consideración el momento de diseñar la planta.

5.3. Selección de bombas y tuberías para relleno de la piscina

Para seleccionar la bomba para el sistema de bombeo de agua que completa la piscina de decantación usamos el mismo método descrito anteriormente para la selección de la bomba de la lavadora..

Inicialmente hay que establecer los parámetros que existen para este sistema de bombeo:

1. La captación se encuentra a una cota 25 metros por debajo de la cota de la piscina de sedimentación.
2. Existe una distancia de 225 metros entre la captación y la piscina, la misma que representa la longitud de la tubería que hay que montar.
3. Debe de existir dentro la línea de tuberías una válvula que permita en última instancia controlar el flujo que ingresa a la lavadora.
4. Además hay que contemplar 4 codos de 90 grados en el trazado de la línea de tuberías.
5. Se ha escogido que la tubería que se va a utilizar sea de plástico.
6. El diámetro de la tubería es de 2,5 pulgadas

Las pérdidas mayores vienen dadas por la Fórmula 5.4. Las mismas que al ser calculadas nos dan un valor de:

Pérdidas Mayores(h_f) = 21,280 m

El caudal que necesitamos reponer en la piscina tiene un valor de $9,36 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua pero vamos a seleccionar una bomba que nos arroje un caudal de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, esto es para evitar que esta bomba este funcionando todo el tiempo que la lavadora este prendido, como solo es un volumen de reposición se calcula con un valor cerca de 200% mayor para solamente tener que prender dicha bomba durante una tercera parte del tiempo que dure la producción del día. El diámetro de abertura del tubo de ingreso es de 2". De acuerdo a esta información podemos sacar la velocidad media del fluido a lo largo de la línea de tubería, de acuerdo a la ecuación 5.1:

Calculando en base a esta información obtenemos que la velocidad media es de $2,63 \text{ m/s}$.

Con esta información se procede a calcular las pérdidas mayores y menores en términos de altura piezométrica para seleccionar la bomba mas adecuada con estas características de operación.

Primeramente debemos calcular el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds del fluido con la velocidad media obtenida.

Con una temperatura de 25°C la viscosidad cinemática es del agua es de $8,5 \times 10^{-7}$ m²/s, ver Gráfico 5.1, y de acuerdo a la Fórmula 5.2, se obtiene un número de Reynolds de $4,26 \times 10^{-5}$

La rugosidad de la tubería es de 0,007 mm y de acuerdo a la fórmula 5.3 obtenemos la Rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad Relativa} = 0,000110.$$

Con este valor y el Número de Reynolds, entramos al Gráfico 5.2 y encontramos el coeficiente de rozamiento f , el mismo que vamos a utilizarlo en todas las fórmulas de pérdidas. El mismo que nos da un valor de:

$$f = 0,017$$

La diferencia de presión entre ambos tubos se la va hallar en términos de la altura piezométrica, es decir la altura a la que hay que elevar el fluido sumada a todas las pérdidas en la línea, tanto las mayores ocasionadas por la fricción con la tubería, como las menores, ocasionadas por codos, contracciones, válvulas, factores de admisión y de descarga.

Es decir que la ecuación quedaría de la siguiente manera

$$\Delta P = H + \frac{V^2}{2g} + \text{Pérdidas Mayores} + \text{Pérdidas Menores}$$

Las pérdidas mayores vienen dadas por la **Fórmula 5.5**.

Pérdidas Mayores(h_f) = 21,28 m.

Mientras que las pérdidas menores están dadas por la suma de las diferentes pérdidas, que en nuestro caso están dadas por la válvula de control, la admisión y la descarga y los codos de 90°. Donde las pérdidas ocasionadas por la forma de la entrada y descarga obedece a la Fórmula 5.6.a,

Las pérdidas ocasionadas por los codos de 90° y por la válvula es igual que la ecuación anterior, con la diferencia que hay que multiplicarlo por el coeficiente de rozamiento de la tubería, quedando la ecuación de acuerdo a la fórmula 5.6.b

Los diferentes coeficientes de pérdidas quedan tabulados en la Tabla 5.1

Para el cálculo de las pérdidas menores usamos el mismo criterio que en la sección anterior y obtuvimos la Tabla 5.3

Pérdidas Menores			
Motivo	Cantidad	Pérdida Unit.	Pérdida Tot.
Entrada +	1	0,353	0,353
Salida +	1	0,353	0,353
Válvula de Compuerta*	1	0,210	0,210
Codo de Servicio 90 ^{0*}	4	0,300	1,201
TOTAL			2,118

* Basado en $h_f = K f$

Basado en $* h_f = f \frac{KV^2}{2g}$ ** $h_f = K \frac{V^2}{2g}$

+ Basado en $h_f = K$

Tabla 5.4

Con lo que obtenemos una Pérdida menor Total de 2,118 m que sumadas a las Pérdidas mayores nos ocasiona una Pérdida Total de 23,398 m.

Ingresando esto a la ecuación original tenemos entonces que la diferencia de presión en altura piezométrica es de:

$$\Delta P = 25 + 0,353 + 23,398$$

$$\Delta P = 48,751 \quad m$$

Con esta altura piezométrica y el caudal de 30 m³/h se selecciona la bomba mas eficiente entrando a la curva de desempeño de bombas, ver Anexo 5.2, y se selecciono una bomba marca Goulds Modelo 10AI/Bf de 10 BHP con una eficiencia de cerca del 82%.

5.4. Diseño de piscinas de decantación

La arena a producirse en la futura planta tiene que ser sometida a un proceso de homogeneización y un lavado para eliminar el contenido de arcillas y limos no deseados como parte del producto final, produciéndose como residuo del proceso agua con partículas en suspensión.

Cabe resaltar que el agua residual del lavado no es descargada a ningún curso de agua, ésta es conducida a través de un sistema de sedimentación conformada por tres piscinas en las cuales se sedimenta la mayor parte de partículas del agua, para luego ser dispuesta en el reservorio artificial. El agua que se utiliza para este proceso es obtenida del mismo reservorio, produciéndose un circuito cerrado.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PROCESO

El agua de proceso es tratada mediante sedimentación, la cual consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas en el agua, obteniendo de esta manera un efluente clarificado.

La medida en que se desarrolle el fenómeno de sedimentación depende de la posibilidad de contacto entre las diferentes partículas, que a su vez es función de la profundidad del tanque, de la velocidad del sistema, de la concentración de partículas y de los tamaños de las mismas. El efecto de estas variables sobre el proceso sólo se puede determinar mediante ensayos de sedimentación. Por lo tanto, para evaluar la operabilidad del sistema de tratamiento de agua de proceso hay que proceder a realizar un ensayo de sedimentación simple denominado tipo Batch.

ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN

El ensayo Batch sirve para determinar el área necesaria para las instalaciones de sedimentación y espesado de fangos (dimensiones de un tanque de sedimentación). Este ensayo fue desarrollado por Talmadge y Fitch, consiste en llenar una columna de altura determinada con una suspensión de sólidos de concentración uniforme. Con el paso del tiempo, al ir sedimentando la suspensión, se forma una interfase que se va desplazando hacia abajo. La variación de la altura de la interfase con el tiempo da como resultado la curva de

sedimentación característica de la suspensión en estudio. La velocidad de descenso de la interfase se corresponde con la pendiente de la curva en cada instante de tiempo.

Para la realización del ensayo se colecta una muestra de agua de lavado de arena en la descarga hacia la piscina de sedimentación. La columna que se utilizó para el ensayo tiene una altura de 15 pulgadas (0.38 m) y la variación de la interfase se la midió cada cinco minutos durante una hora de ensayo.





Los gráficos y resultados que se presenta en este trabajo corresponden a los obtenidos de una lavadora de espiras de la provincia del Oro de similares características de la que se está analizando en este proyecto. Obviamente estos valores sirven como datos referenciales, ya que para poder obtener la curva de sedimentación de la arena a producir hay que efectuar este mismo proceso con dicho material, ya que cada proceso tiene su curva característica, pero nos da una idea bastante aproximada de las dimensiones que hay que considerar para el diseño de las piscinas de sedimentación de nuestro proyecto.

DATOS DE LAVADORA ANALIZADA:

El caudal del efluente de la lavadora analizada se midió cada hora durante una jornada de trabajo, esto es ocho horas. Utilizando el método de flotadores se obtuvo un caudal de 1200 galones por minuto ($4.8 \text{ m}^3/\text{min}$).

Además hay que tomar dos muestras de agua para ser analizada. Un punto de muestreo está ubicado en la descarga de la planta de lavado de arena, a la salida del canal que conduce la descarga a las piscinas de sedimentación. Otro punto de muestreo se encuentra a la salida del sistema de piscinas de sedimentación.

El parámetro que se analiza son los sólidos suspendidos presentes en las descargas arriba mencionadas. Este parámetro es necesario para la realización del ensayo Batch. El análisis de las muestras se lo realiza en base a la Standard Methods, norma 2540 D.

Las muestras analizadas proporcionaron los siguientes resultados.

- Efluente: 64272 miligramos por litro (mg/l)
- Agua Clarificada: 330 miligramos por litro (mg/l)

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA UN TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

La curva de sedimentación que se muestra se ha obtenido del agua de lavado de arena.

La muestra tiene una concentración inicial de sólidos, C_o , de 64272 mg/l. La altura inicial de la interfase, en la columna de sedimentación, era de 38.1 cm. Para determinar la superficie necesaria para obtener un fango concentrado de concentración $C_u = 121500$ mg/l con un caudal entrante de 1200 gal/min.

Determinación de la superficie necesaria para el espesamiento de los lodos.

Primero calculamos la profundidad (H_u) a la que todos los sólidos se encuentren a la concentración deseada, mediante la siguiente ecuación:

$$H_u = \frac{C_o H_o}{C_u}$$

$$H_u = \frac{64272 \text{ (ng/l)} \times 0.381 \text{ (m)}}{121500 \text{ (ng/l)}}$$

$$H_u = 0.202 \text{ m (20.2 cm)}$$

Para determinar en que tiempo se alcanza la profundidad H_u , se traza una línea horizontal desde este punto hasta la tangente a la curva de sedimentación en C_2 , en el punto de intersección se traza una línea vertical hasta que cruce por el eje del tiempo, con lo que se obtiene el tiempo, $t_u = 14.5 \text{ min}$, necesario para el espesado de los lodos a la profundidad H_u .

Con estos datos se procede a calcular la superficie necesaria para el espesamiento de los lodos a la concentración C_u .

$$A_{\text{Espesado}} = \frac{Q t_u}{H_o} = \frac{4.8 \text{ (m}^3/\text{min)} \times 14.5 \text{ (min)}}{0.381 \text{ (m)}}$$

$$A_{\text{Espesado}} = 183 \text{ m}^2$$

Otro de los parámetros que determinan la característica física del agua en estudio es el área necesaria para la clarificación, para esto necesitamos determinar los siguientes factores.

- velocidad de sedimentación

La Velocidad de Sedimentación se determina calculando la pendiente de la tangente desde la porción inicial de la curva de sedimentación.

$$v = 1.76 \text{ cm/min} = 0.000293 \text{ m/seg}$$

- Caudal de agua clarificada

Dado que el caudal de líquido sobrenadante es proporcional al volumen de líquido existente por encima de la zona crítica de fangos, se puede calcular como sigue:

$$Q_c = Q \frac{H_o - H_{C_2}}{H_o} = 0.08 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right) \frac{0.381 - 0.172}{0.381} \left(\text{m} \right)$$

$$Q_c = 0.044 \text{ m}^3/\text{seg} = 658 \text{ gal/min}$$

Con estos factores se puede determinar la superficie necesaria para la clarificación.

$$A_{\text{Clarificación}} = \frac{Q_c}{v} = \frac{0.044 \text{ (m}^3/\text{seg)}}{0.000293 \text{ (m/seg)}}$$

$$A_{\text{Clarificación}} = 150 \text{ m}^2$$

El elemento de control es la superficie de espesamiento (183 m²), por ser mayor que la superficie necesaria para la clarificación (150 m²).

La carga de sólidos se determina de la siguiente manera:

$$\text{Sólidos, Kg/día} = Q C_o = \frac{6912 \text{ (m}^3/\text{día)} \times 64272 \text{ (mg/l)}}{1000} = 444245$$

Kg/día

$$\text{Carga de sólidos} = \frac{2432 \text{ (Kg/día)}}{183 \text{ m}^2} = 2432 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{día}$$

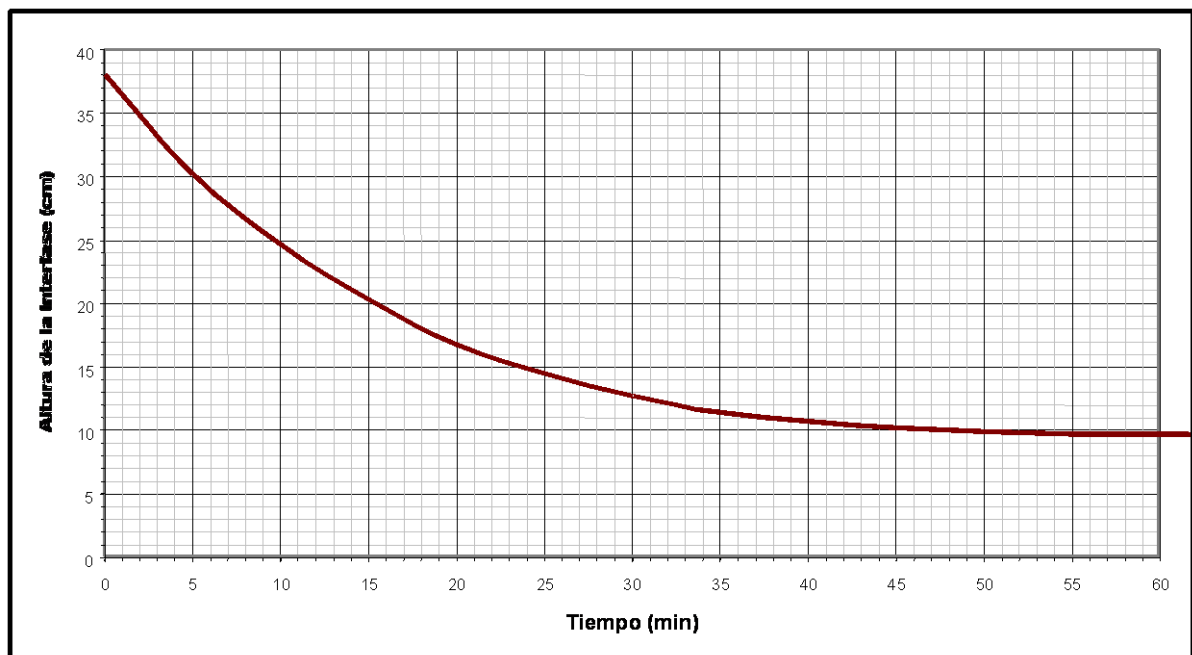
$$\text{Carga hidráulica de superficie} = \frac{0.044 \text{ (m}^3/\text{seg)} \times 86400 \text{ (seg/día)}}{183 \text{ (m}^2)}$$

$$= 25 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

RESULTADOS DEL ENSAYO

Como resultado del ensayo se obtuvo la curva de sedimentación característica del efluente que produce la lavadora de arena de la planta.

Figura #1: Curva de sedimentación característica - agua de lavado de arena



La curva mostrada nos permite la determinación de los siguientes parámetros de diseño, aplicando la metodología desarrollada por Talmadge y Fitch.

Velocidad de sedimentación 1.06 m/h

Superficie necesaria para el espesamiento de los lodos es 183 m²

Caudal de agua clarificada: 658 gal/min (0.044 m³/seg)

Superficie necesaria para la clarificación 150 m²

Carga de sólidos 1175 kg/m²·día.

La superficie mayor es la que determina el tamaño de la piscina, con una profundidad de 2 metros. Es decir un ancho de 12,2 metros por un largo de 15 de metros, además se puede dividir en 3 piscinas continuas, lo que facilita el paso del agua clarificada de una piscina a otra.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado de analizar en los capítulos previos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- Existe un mercado insatisfecho de arena para uso de obras civiles, el mismo que puede ser satisfecho con la explotación de esta cantera.
- La arena en estudio cumple con todas las normas requeridas por el mercado de la construcción, tanto en forma y tamaño granular.
- Las maquinarias que los accionistas poseen sirven para ser utilizadas en el proceso de lavado de arena.
- Las maquinarias que se poseen pueden ser utilizadas en el proceso, pese a su antigüedad, pero previamente tienen que ser sometidas a un minucioso plan de mantenimiento.
- Los rubros que se tienen que incurrir en el mantenimiento, montaje y puesta a punto se detalla en la siguiente tabla:
- Debido al alto consumo de agua se tiene que seleccionar un circuito cerrado.
- Hay que diseñar una piscina de decantación para poder eliminar los residuos que salen en el overflow, ya que no se los puede evacuar directamente al río, además que esa agua se la va volver a utilizar por lo que hay que clarificarla.
- Es imprescindible contar con la información de las características del material en crudo y de las que se desea obtener para poder elaborar un buen balance de masas.
- Con la información obtenida en el balance de masas se puede calcular la productividad de la clasificadora de espiras que se posee.

- Con la información obtenida en el balance de masas y las diferentes distancias y cotas en que se van a ubicar las maquinarias se pueden seleccionar adecuadamente las diferentes bombas que requiere la planta.

Por los motivos arriba expuestos se recomienda que una vez encontrado el financiamiento para esta obra se la implemente lo mas rápido posible, ya que teniendo el mercado y la materia prima solo es cuestión de explotarla y comercializarla en condiciones rentables.