

# **ANÁLISIS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA ARENERA.**

Xavier Esteban Toledo Tapia<sup>1</sup>, Friné Zherdmant Vélez<sup>2</sup>, Manuel Helguero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánica 2006, email: xavier\_toledo2@yahoo.com

<sup>2</sup>Ingeniera Mecánica 2006, email: fzherdmant@jbggye.org.c

<sup>3</sup> Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Egresado Escuela Superior Politécnica del Litoral 1974, Postgrado España Ona Electro Erosión 1976, Investigación Italia. Centro de Investigaciones FIAT 1977, Profesor ESPOL desde 1978, email: mhelguero@espo.edu.ec

## **RESUMEN**

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.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is basically to quantify the machine's productivity and the costs with which the investors could make it operational. The expenses included in the study are maintenance, spare parts and assembly.

The methodology used in this study was to make a surveying of the actual situation of the equipment, elaborating a list of pieces, observing the structure and machine surface, observing the condition of the components and quantifying further all the studies that should be made on the machine such as selecting the lacking equipment and quantifying its cost. The charts and graphics given by the supplier were used to confirm the productivity of the machine. Also a took place in order to complete the required information.

The expected conclusion of this thesis tends to confirm that the existing classifier can be used as a sand machine and that the costs needed to incur to make it operational are not expensive and allow the investors to decide carrying out the project.

## **INTRODUCCION**

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.

## **CONTENIDO**

### **Proceso de lavado de Arena**

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 a definir 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 rejas 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 más 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.

## **Leyes Fundamentales de la Clasificación**

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.

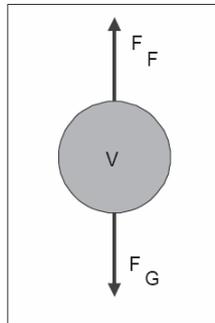
Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre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



**Figura 1**

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

donde:

$\rho$  = densidad del líquido

$\rho_s$  = 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:

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

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

En la cual:

$V_s$  = velocidad de sedimentación

$d$  = Diámetro de la partícula

$g$  = Aceleración de la gravedad

$\rho_s$  = Densidad de la partícula

$\rho$  = 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

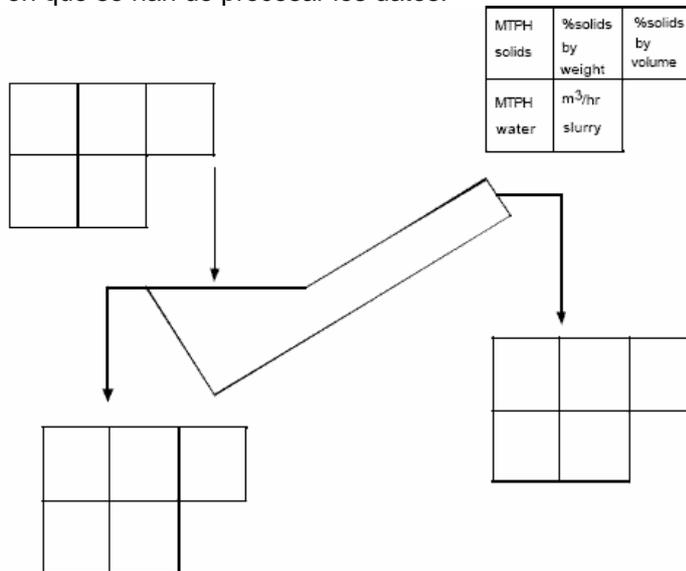
$U$  = Viscosidad cinemática (Stokes)

## Selección de la 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 Gráfico2 nos da una idea de un diagrama de balance de masas considerando además las unidades en que se han de procesar los datos.



**FIGURA 2**

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

1. La cantidad de material a procesar es un dato que uno debe estimarlo o tenerlo. Obviamente uno debe de conocer la capacidad de producción de su planta o del mercado y en función de ello selecciona una máquina de acuerdo a las 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.

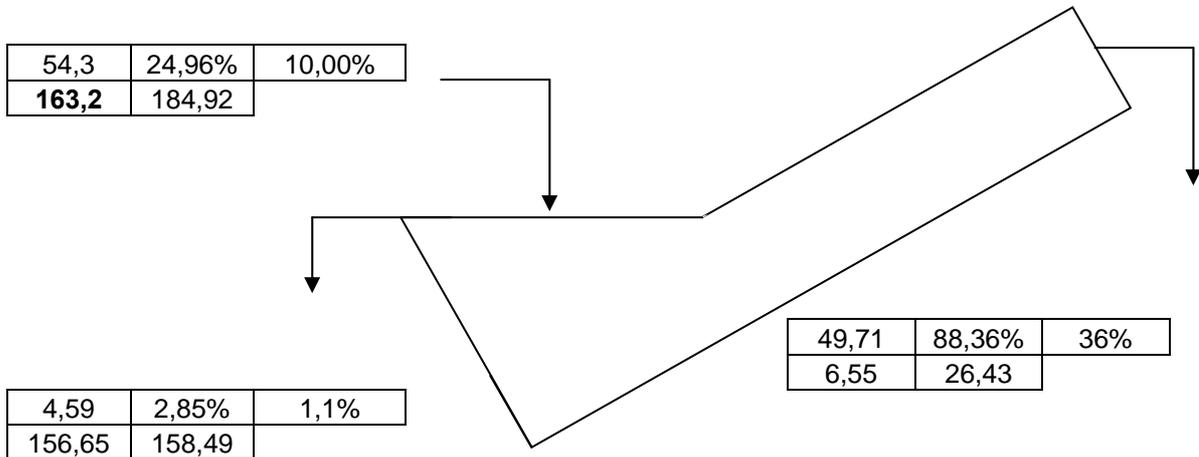
- 10-15% Sólidos por Volumen: Buena Eficiencia
- 15-30% Sólidos por Volumen: Baja Eficiencia
- <30% Sólidos por Volumen: Ineficiente

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.

Con estas consideraciones llegamos a graficar el siguiente balance de masas:

MTPH	% Sólidos	% Sólidos
Sólidos	por peso	por
MTPH	m3/h	Volumen
Agua	mezcla	



### Costos de Mantenimiento y Montaje

Una vez determinada la situación actual de la lavadora, se pudo efectuar un presupuesto de los montos de los procesos que hay que efectuar para dejar operativo el clasificador de arena y que se detalla en la siguiente tabla:

Trabajo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Sand Blasting	m2	140,16	\$6	\$840,94
Pintura	m2	140,16	\$2	\$280,31
Rodamiento	unid	1	\$473	\$473,15
Rodamiento	unid	1	\$751	\$751,22
Amortiguador	unid	1	\$68,22	\$81,87
Platina	unid	1	\$180	\$180,00
Tornillos	unid	100	\$0,5	\$50,00
Pernos	unid	100	\$0,5	\$50,00
Bandas	unid	5	\$15	\$75,00
Motor 25 HP	unid	1	\$673,2	\$673,20
Manguera para agua	m	8	\$5,0	\$40,00
Cilindro hidraulico	1	1	\$420,00	\$420,00
Bomba Manual Mantenimiento	1	1	\$180,0	\$180,00
Manómetro	1	1	\$45,0	\$45,00
Manguera hidráulica alta presión	m	4	\$16,3	\$65,0
<b>Total</b>				<b>\$4.205,69</b>

A estos valores hay que sumar los de mano de hora hombre herramienta el mismo que es de USD 5/ hora/hombre

### Equipo de Trabajo

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

Número de días 10

**Costo Total Horas Hombre \$2.000,00**

**Dirección Técnica**

Costo obra \$6.205,69

**10% Costo de Obra \$620,57**

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

USD 6.826.26.

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.

El detalle de los costos se presenta a continuación:

**Equipo de Trabajo**

Grúa 20 TM	\$40,00c/h
horas a laborar	6horas
Costo grúa 20 Tm	\$240,00
Costo Hora Hombre	\$6,00USD/hombre
Integrantes	5personas
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**

<b>Costo Total Montaje</b>	<b>\$1.320,00</b>
----------------------------	-------------------

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 de dejar operativa la lavadora es:

<b>Costo Total Lavadora</b>	<b>\$8.146,26</b>
-----------------------------	-------------------

En estos costos no se han incluido los gastos de los equipos necesarios para el sistema de bombeo de agua, desde el río a la piscina de almacenamiento, de la piscina de almacenamiento a la lavadora, al cojinete inferior de la lavadora y a la zaranda. Estos ítems son considerados en un capítulo aparte.

**CONCLUSIONES**

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.

## REFERENCIAS

- 1 F. Zherdmant "Análisis de los Procesos para implementar sistemas complementarios en una planta para lavado de arena" (Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica y ciencias de la Producción 2006)
- 2 T. Baumister, E. Avallone, T Baumister III, Manual del Ingeniero Mecánico (8ª Edición Mc Graw Hill 1984) Capítulo 12
- 3 Catalogo de Línea de clasificadores Metso – 2000. Formato pdf.
- 4 Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales (Sao Paulo – Brasil – 2005)