



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**"Propuestas operativas para mejorar e incrementar la
producción de una planta lavadora de arena para
hormigón"**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

John Manuel González Velastegui

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2002

AGRADECIMIENTO

A Dios y a todas las personas que me brindaron su ayuda a la realización de esta tesis y especialmente al Ing Galo Betancourt Director de Tesis, por su tiempo y paciencia.

DEDICATORIA



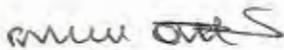
A MIS PADRES

A MI TIA

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

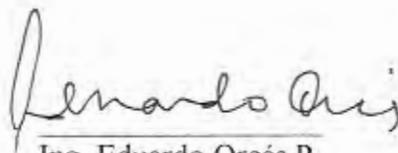
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Francisco Andrade S.
**DELEGADO POR EL DECANO
PRESIDENTE**



Ing. Gato Betancourt S.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



John González Velastegui

RESUMEN

La presente tesis se desarrolla y ejecuta en la planta de Agregados Huayco-Guayaquil, en donde por medio de procesos de zarandeo se obtiene piedras y arenas para hormigones. La materia prima es extraída de una cantera, se la selecciona y después pasa a ser triturada, y por medio de sistemas de zarandas se obtienen los productos de acuerdo a su granulometría y bajo normas de calidad.

Se hará un estudio y análisis del proceso de lavado de arena. La arena antes de ser lavada, es clasificada y seleccionada. Los cuatros procesos de zarandeos clasifican el material proveniente de la trituración, la arena menor a 4,75 mm entra al separador de polvo donde los finos son separados y almacenados en un silo, los gruesos son alimentados a la planta de arena, y por medio de un proceso de lavado centrifugo de separación se obtienen las arenas homogenizada y gruesa.

Se propone que la planta lavadora de arena sea alimentada con un material de menos fino, se estudiarán los posibles cambios en el separador,

analizando las velocidades de las aletas y clasificar el material adecuado mediante las aletas de selección. Se optimizará el decantador planteando propuestas operativas, para mejorar su funcionamiento en base a catálogos. se hará un estudio del tratamiento y clasificación de las sustancias presentes en el agua, y los fenómenos de coagulación, floculación y sedimentación presentes en los lodos.

Los lodos que se obtienen después del proceso de lavado, son decantados y evacuados a las piscinas de sedimentación o transportados en cisternas móviles, para luego ser depositados en lagunas.

La evacuación de los lodos es un problema para la empresa, se los puede deshidratar mediante filtros-prensa, espesadores, prensas, etc. La selección depende de varios factores, especialmente su costo se planteará posibles soluciones para este inconveniente.

Se concluirá con los resultados operativos en el separador, decantador, en base a los reajustes propuestos, explicando los beneficios que se obtuvieron, adjuntándose catálogos, reportes, planos que muestran los cambios realizados.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN..... | II |
| ÍNDICE GENERAL..... | IV |
| ABREVIATURAS..... | IX |
| SIMBOLOGÍA..... | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XIV |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| CAPITULO 1..... | 2 |
| 1. PROCESOS Y OBTENCION DE LA MATERIA PRIMA..... | 2 |
| 1.1. Proceso de trituración primaria..... | 2 |
| 1.1.1. Explicación y análisis del proceso..... | 4 |
| 1.1.2. Obtención de la piedra primaria..... | 5 |
| 1.1.3. Primer zarandeo (1Z)..... | 6 |

| | |
|--|----|
| 1.2. Proceso de trituración secundaria..... | 9 |
| 1.2.1. Segundo zarandeo (2Z) | 11 |
| 1.2.1.1 Obtención y clasificación de áridos | 12 |
| 1.3. Proceso de trituración terciaria | 15 |
| 1.3.1. Tercer zarandeo (3Z) | 15 |
| 1.3.1.1. Obtención y clasificación de áridos | 16 |
| 1.4. Proceso de trituración cuaternaria | 19 |
| 1.4.1. Cuarto zarandeo | 19 |
| 1.4.1.1. Obtención y clasificación de áridos | 21 |
| CAPITULO 2 | 26 |
| 2. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE LAVADO DE ARENA | 26 |
| 2.1. Materia prima que entra a lavarse | 26 |
| 2.2. Descripción del proceso en la planta lavadora de arena y productos obtenidos | 29 |
| 2.3. Secciones de la planta lavadora de arena | 35 |
| 2.3.1. Separador de polvo | 36 |
| 2.3.1.1. Descripción del funcionamiento del separador | 37 |
| 2.3.1.2. Análisis de las condiciones de operación del separador | 46 |
| 2.3.2. Decantador | 48 |
| 2.3.2.1. Parámetros que definen la estructura de un decantador | 48 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2.2. Clasificación de un decantador según el tipo de equipo..... | 49 |
| 2.3.2.3. Decantador estático con barrido mecánico de lodos..... | 53 |
| 2.3.2.4. Descripción del funcionamiento del decantador..... | 55 |
| 2.3.2.5. Análisis de las condiciones de operación y capacidad del decantador..... | 59 |
| 2.4. Estudio y tratamiento del agua..... | 62 |
| 2.4.1. Clasificación de las sustancias presentes en el agua..... | 63 |
| 2.5. Estudio de los fenómenos físico-químicos en la eliminación de la materia en suspensión..... | 70 |
| 2.6. Desestabilización de una suspensión coloidal..... | 77 |
| 2.6.1. Estudio del fenómeno de coagulación..... | 78 |
| 2.6.2. Estudio del fenómeno de floculación..... | 82 |
| 2.6.3. Estudio del fenómeno de sedimentación..... | 85 |
| 2.7. Evacuación y depósito de los lodos..... | 89 |
| 2.7.1. Estudio y características de los lodos..... | 89 |
| 2.7.2. Métodos para la deshidratación de los lodos..... | 91 |
| 2.7.3. Acondicionamiento y disposición de los lodos..... | 92 |
| CAPITULO 3..... | 95 |
| 3. PROPUESTAS OPERATIVAS PARA LAS SECCIONES DE LA PLANTA LAVADORA DE ARENA..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| 3.1. Propuestas operativas en el separador..... | 96 |
| 3.1.1. Estudio y análisis de las velocidades de las paletas del separador..... | 96 |
| 3.1.2. Estudio y análisis de las paletas principales y paletas de selección..... | 98 |
| 3.1.3. Condiciones óptimas de operación..... | 101 |
| 3.2. Propuestas operativas para el decantador..... | 104 |
| 3.2.1. Estudio de las condiciones actuales del decantador..... | 106 |
| 3.2.2. Reajustes propuestos para modificar el decantador..... | 107 |
| 3.2.3. Beneficios y condiciones óptimas de operación..... | 117 |
| 3.3. Desalojo de los lodos..... | 118 |
| 3.3.1. Lagunas de sedimentación..... | 120 |
| 3.3.2. Descarga de los lodos en cisternas móviles..... | 121 |
| 3.3.3. Equipos Filtro-Prensa para lodos (Compactadores)..... | 122 |
| CAPITULO 4..... | 129 |
| 4. RESULTADOS OPERATIVOS..... | 129 |
| 4.1. Separador de polvo..... | 129 |
| 4.2. Decantador..... | 131 |
| 4.3. Desalojo de los lodos..... | 134 |
| 4.4. Productividad..... | 136 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 138 |

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

| Simbolo | Significado |
|--------------------------------|--|
| pH | Acidez del agua |
| H ₂ PO ₄ | Ácido orto fosfórico |
| Al | Aluminio |
| NH ₄ | Amoniaco |
| Cl | Cloro |
| Cr | Cromo |
| (4Z) | Cuarto Zarandeo |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| AL(OH)3 | Hidróxido de aluminio |
| Fe | Hierro |
| HP | Horse Power |
| Kw | Kilo vatios |
| Kg/m ³ | Kilogramos sobre metros cúbicos |
| log | Logaritmo |
| Mg | Magnesio |
| Mn | Manganeso |
| Hg | Mercurio |
| m | Metros |
| μ | micra |
| mV | Mili voltios |
| mg/l | Miligramos sobre litros |
| mm | Milímetros |
| N ₂ | Nitrógeno |
| O ₂ | Oxígeno |
| ppm | Partículas por millón |
| % | Porcentaje |
| K | Potasio |
| (1Z) | Primer Zarandeo |
| RPM | Revoluciones por minuto |
| RPS | Revoluciones por segundo |
| (2Z) | Segundo Zarandeo |
| (S-S-D) | Separador de polvo, silo de polo y decantador de arena |

| | |
|--------|----------------------------|
| (S-D) | Silo de polvo y decantador |
| Na | Sodio |
| (3Z) | Tercer Zarandeo |
| TPH | Toneladas por hora |
| V | Voltios |
| V | Volumen |
| Z B13 | Zaranda B13 |
| Z-B2-1 | Zaranda B2-1 |
| Z-B2-2 | Zaranda B2-2 |
| Z B4-1 | Zaranda B4-1 |
| Z B4-2 | Zaranda B4-2 |
| Zn | Zinc |

SIMBOLOGÍA

| Simbolo | Significado |
|----------------|---|
| C# | Cinta o banda |
| D | Constante dieléctrica del medio |
| d | Diámetro del decantador |
| E | Energía |
| k | Factor del diámetro de la partícula |
| α_0 | Fracción de colisiones |
| g_i | Gradiente de velocidad |
| C° | Grado centígrado |
| μ | Movilidad de la partícula |
| η | nano |
| N | Número de partículas por m ³ |
| n | Número inicial de partículas |
| % | Porcentaje |
| Z | Potencial Zeta en mV |
| h | Profundidad vertical del decantador |
| t | Tiempo |
| η | Viscosidad dinámica |

INDICE DE FIGURAS

| | Pag |
|--|-----|
| Figura 1.1 Volqueta depositando material en trituradora primaria .. | 4 |
| Figura 1.2 Diagrama de flujo de Trituración Primaria | 5 |
| Figura 1.3 Diagrama de flujo Acopio cero al 1Z | 7 |
| Figura 1.4 Diagrama de flujo Primer Zarandeo (1Z) | 9 |
| Figura 1.5 Áridos obtenidos y clasificados (2Z) | 14 |
| Figura 1.6 Diagrama de flujo Segundo Zarandeo y Proceso de trituración | 14 |
| Figura 1.7 Diagrama de flujo del Tercer Zarandeo (3Z) | 17 |
| Figura 1.8 Áridos obtenidos y clasificados (3Z) | 17 |
| Figura 1.9 Diagrama de flujo del Cuarto Zarandeo (4Z) | 19 |
| Figura 1.10 Áridos obtenidos y clasificados (4Z) | 22 |
| Figura 1.11 Diagrama de flujo de la planta de Agregados | 24 |
| Figura 1.12 Diagrama general de la planta de Agregados | 25 |
| Figura 2.1 Diagrama de flujo (Material proveniente del 3Z) | 28 |
| Figura 2.2 Planta lavadora de Arena (S-D) | 30 |
| Figura 2.3 Diagrama de flujo de la planta lavadora de arena | 31 |
| Figura 2.4 Planta lavadora de Arena (S-S-D) | 35 |
| Figura 2.5 Separador de Polvo | 36 |
| Figura 2.6 Separador de Polvo dividido en secciones | 38 |
| Figura 2.7 Decantador Estático sin rascado | 50 |
| Figura 2.8 Decantador Estático laminar | 51 |
| Figura 2.9 Decantador Estático con barrido mecánico de lodos | 52 |
| Figura 2.10 Sistema de barrido de lodos en el fondo del decantador Estático | 54 |
| Figura 2.11 Decantador dividido en secciones | 56 |
| Figura 2.12 Decantador vacío para mantenimiento | 60 |
| Figura 2.13 Gráfico de una doble capa iónica en la interfaz sólido-líquido | 73 |
| Figura 2.14 Curvas de potencial Zeta de diferentes coloides | 76 |
| Figura 2.15 Determinación de las dosis del coagulante por medio del Potencial Z | 80 |
| Figura 2.16 Flujo grama de los tratamientos que se presentan para obtener lodos | 86 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 3.1 | Diagrama de las poleas colocadas arriba del Separador de polvo..... | 98 |
| Figura 3.2 | Diagramas de las paletas del Separador..... | 101 |
| Figura 3.3 | Análisis de la capacidad del Separador de polvo..... | 103 |
| Figura 3.4 | Toneladas de Arena que sale del separador de polvo..... | 103 |
| Figura 3.5 | Variación de la altura del sistema de barrido..... | 115 |
| Figura 3.6 | Filtros-Prensa..... | 123 |
| Figura 3.7 | Clay Slurry Belt Press-Sotres..... | 126 |
| Figura 3.8 | Diagrama de flujo (PHOENIX) Proceso de lavado de arena..... | 127 |
| Figura 3.9 | Diagrama de un Filter Press PHOENIX..... | 128 |
| Figura 3.10 | Esquema de un Clay Slurry Belt Press-Sotres..... | 128 |
| Figura 4.1 | Informe de Producción/ Hora disponible (Separador)..... | 130 |
| Figura 4.2 | Toneladas alimentadas a la Planta lavadora de arena..... | 131 |
| Figura 4.3 | Producción de arena lavada..... | 132 |
| Figura 4.4 | Informe de Ton-Prod / hora disponible (Decantador)..... | 133 |
| Figura 4.5 | Porcentaje de desechos de lodos de la planta lavadora..... | 134 |
| Figura 4.6 | Informe del Porcentaje de lodo y agua en los desechos..... | 135 |
| Figura 4.7 | Informe de la Producción de la arena a lavar y arena lavada..... | 136 |
| Figura 4.8 | Informe de la Eficiencia de la Operación bruta..... | 137 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pag |
|-----------|--|-----|
| Tabla 1.1 | Características de la trituradora Primaria..... | 3 |
| Tabla 1.2 | Características de la Primera Zaranda (1Z)..... | 8 |
| Tabla 1.3 | Características de la Segunda Zaranda (2Z)..... | 11 |
| Tabla 1.4 | Características de áridos obtenidos (2Z)..... | 13 |
| Tabla 1.5 | Características de las trituradoras..... | 15 |
| Tabla 1.6 | Características de áridos obtenidos (3Z)..... | 18 |
| Tabla 1.7 | Características de la Zaranda (B-13)..... | 20 |
| Tabla 1.8 | Características de áridos obtenidos (4Z)..... | 23 |
| Tabla 2.1 | Propiedades de la arena gruesa lavada..... | 33 |
| Tabla 2.2 | Propiedades de la arena homogenizada lavada..... | 34 |
| Tabla 2.3 | Separador de Polvo dividido en secciones..... | 37 |
| Tabla 2.4 | Propiedades del Separador de polvo..... | 47 |
| Tabla 2.5 | Propiedades del Decantador..... | 59 |
| Tabla 3.1 | Tabla comparativa de los valores obtenidos..... | 98 |
| Tabla 3.2 | Reajustes operativos realizados en la planta lavadora de arena..... | 104 |
| Tabla 3.3 | Tabla de datos actuales del Decantador..... | 107 |



INTRODUCCION

La planta de Agregados Huayco-Guayaquil, se dedica a producir áridos de calidad, que cumplen con las normas técnicas y estandarizadas, desechando las impurezas encontradas en el medio, lodo, arcilla, sales materiales orgánicos, etc. También se dedica a la producción de productos obtenidos de la piedra caliza como las cales y los carbonatos. Entre los áridos básicos para la construcción se encuentra la piedra y la arena. La materia prima es extraída de una cantera, seleccionada y después pasa a ser triturada, es clasificada y seleccionada por los cuatros procesos de zarandeos obteniéndose los productos de acuerdo a su granulometría y normas

La presente tesis se centra en incrementar la producción de arena lavada, y que la planta lavadora de arena sea alimentada con un material con menos finos, analizando los cambios propuestos y realizados en el separador de polvo. El decantador volvió a ser sometido a otro estudio de reajustes operativos, planteándose los objetivos en base a los parámetros a mantener esperando aplicarlos a futuro.

Se menciona diferentes equipos para la evacuación de los lodos y su selección depende de varios factores como el costo inicial, el de operación, etc. La empresa estudiará la viabilidad de comprar el equipo respectivo.

CAPITULO 1

1.PROCESOS Y OBTENCION DE LA MATERIA PRIMA.

1.1. Proceso de trituración primaria.

El material que normalmente se explota en la cantera de HUAYCO es la piedra caliza. La piedra, que tiene entre 90 – 95 % de carbonato de calcio, sirve para el proceso de obtención de cal, y la que tiene menos de este porcentaje es apta para la obtención de agregados o áridos para hormigón. Este material es explotado utilizando equipo pesado, tales como excavadoras, tractores, debiendo separarse las capas de arcilla, en consideración de que dicho material no es apto para la producción industrial de cal y agregados para hormigón. El material arcilloso y lodoso es desechado, ya que estos causan problemas con la calidad del producto y la operación de las plantas.

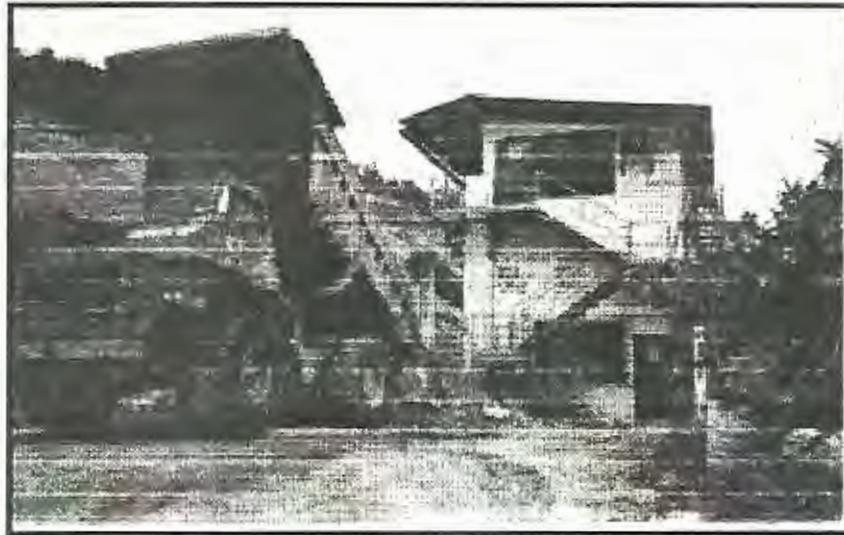
La materia prima de cantera es transportada por camiones, tipo Volqueta (Dumper), que tienen capacidades de 30 y 50 toneladas, los cuales son vaciados en la trituradora primaria.

El primer proceso para reducir el tamaño de las rocas se lo realiza en la trituradora primaria, que tiene las siguientes características:

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TRITURADORA PRIMARIA

| | |
|------------|------------|
| Marca: | BABBITLES |
| Modelo: | BP - 38 DD |
| Potencia: | 275 KW |
| Capacidad: | 600 TPH |

Cuando ingresan muchos finos a la trituradora primaria su capacidad puede aumentar hasta un valor máximo de 750 tph. Si el material fuera muy grueso su capacidad puede ser de 400 a 500 tph. Su función, como su nombre lo indica, es triturar el material proveniente de la cantera hasta llevarlo a un tamaño de 0 a 200 mm.



**FIG 1.1. VOLQUETA DEPOSITANDO MATERIAL EN TRITURADORA
PRIMARIA**

1.1.1. Explicación y análisis del proceso.

El material triturado en la primaria es llevado por bandas, que transportan el material hacia las diferentes etapas del proceso(Figura 1.2.) Un producto terminado se lo clasificaría según su granulometría. Todas las zarandas en los diferentes procesos están compuestas de dos pisos a excepción de la zaranda TYLER.

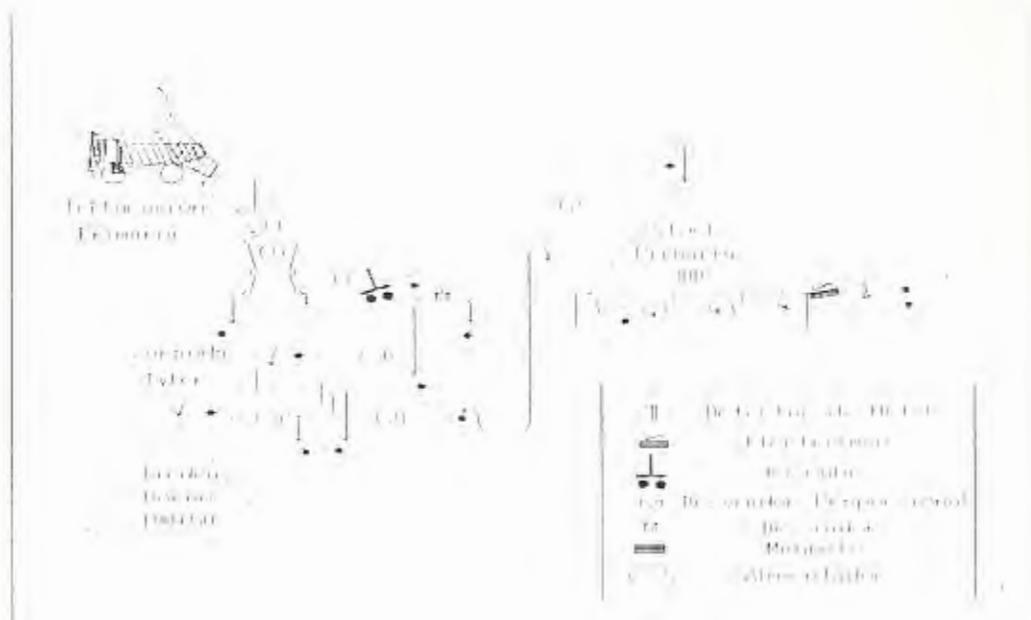


FIG 1.2. DIAGRAMA DE FLUJO (TRTURACIÓN PRIMARIA)

1.1.2. Obtención de la piedra primaria.

En este proceso obtenemos la piedra con el pasante requerido (0 – 200) mm. A su vez este material sirve como stock de primaria, siendo éste la alimentación para la trituración secundaria.

La Zaranda TYLER clasifica el material de 2 a 4 pulgadas, que sirve para la producción de cal viva en el horno. Este material se lo conoce como piedra para el horno.

El material que no está clasificado en el tamaño 50 – 100 mm regresa nuevamente para formar el stock principal, al cual se lo conoce como acopio cero, es decir, donde reposa el material de 0 – 200 mm. Con el material almacenado en el acopio cero comienza el proceso de la trituración secundaria

El acopio cero de la trituración primaria dispone de un túnel en su parte inferior, el cual para el efecto de llevar en serie la producción, se lo llama túnel # 1. Dicho túnel está compuesto de 3 bocas, las cuales sirven para suministrar el material a través de 3 alimentadores, siendo este transportado por las bandas hasta la etapa que llamamos el primer zarandeo (Figura 1.3).

1.1.3. Primer zarandeo (1Z).

En este proceso se quiere retener las impurezas con que viene el material, obtener la sub - base y clasificar el material de acuerdo a su granulometría. El primer zarandeo se inicia cuando el material ingresa a la zaranda (Z) Simplicity, que está formada por 3 pisos, los dos primeros por paños de caucho, mientras que el tercero está formado por poliuretano

(Figura 1.3). El primer zarandeo clasifica el material según el tamaño que requerimos, es decir, de acuerdo a la granulometría deseada, y a la etapa donde queremos llevarlo.

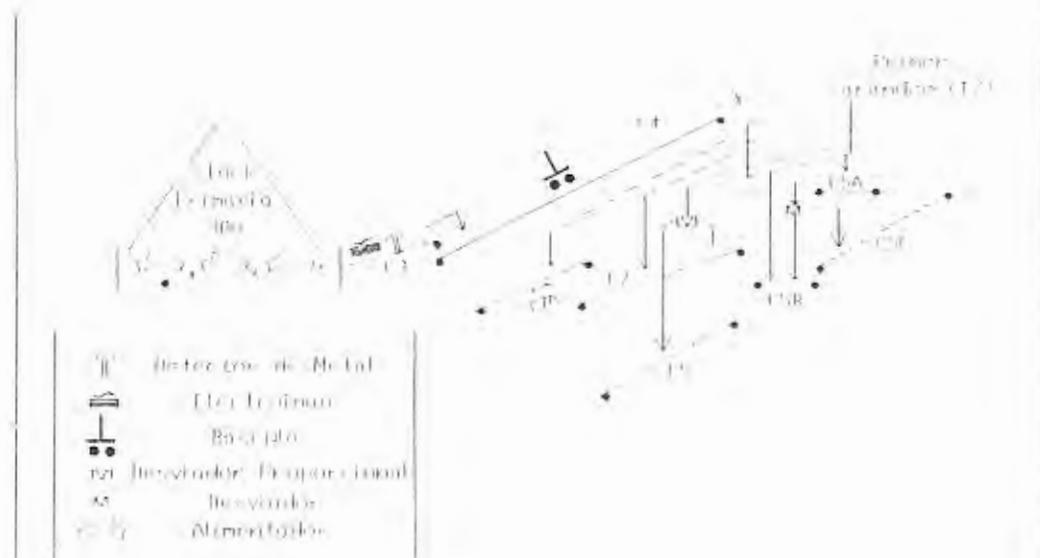


FIG 1.3. DIAGRAMA DE FLUJO (ACOPIO CERO AL PRIMER ZARANDEO)

El material que ingresa al primer zarandeo tiene una granulometría de 0 – 200 mm. A continuación se detalla las características de la zaranda antes mencionada.

TABLA 1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PRIMERA ZARANDA (1Z)

| PRIMERA ZARANDA | |
|-----------------|--------------|
| Marca: | SIMPLICITY |
| Modelo: | 8x24 DM 1600 |
| Potencia: | 80 HP |
| Capacidad: | 800 TPH |

A medida que el material circula por la zaranda Simplicity, se va separando las impurezas, y en cada piso de dicha zaranda se clasifica el material de acuerdo a su granulometría. En el primer piso se obtiene una granulometría de 75 – 200 mm, en el segundo piso quedan los pasantes del primero con una granulometría de 38 – 75 mm, y en el tercero una granulometría entre 12 – 38 mm.

Mediante este zarandeo se puede obtener, mediante cambio de mallas, la piedra sub-base con una granulometría 0 – 400 mm y piedra bola 100 – 200 mm. Como el material ya ha sido clasificado según el tamaño, estas se transportan mediante bandas a la etapa del segundo zarandeo.

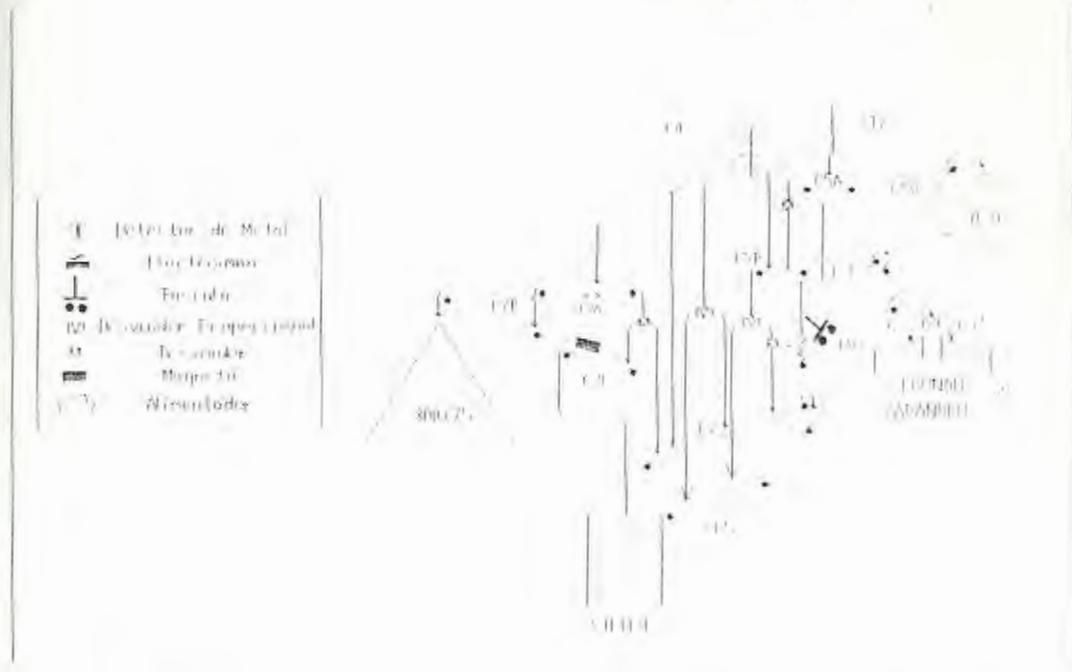


FIG 1.4. DIAGRAMA DE FLUJO PRIMER ZARANDEO (1Z)

1.2. Proceso de trituración secundaria.

La trituración secundaria esta formada por cuatro unidades de zarandeo y de cada uno se obtiene un producto terminado con su granulometria especifica. Si un material no cumple con su norma establecida, este volverá a ser otra vez triturado hasta obtenerla. El material que ingresa a la trituración secundaria tiene una granulometria de 0 a 200 mm. En el primer zarandeo se elimina las impurezas y material para preparar sub-base. En el segundo zarandeo se clasifican las piedras de acuerdo a su granulometria

para alimentar a las trituradoras secundarias, terciarias y cuaternarias para obtener los diferentes tamaños de áridos.

En el tercer zarandeo se clasificara la piedra chispa y arenas, y en el cuarto zarandeo se clasifican los otros agregados para hormigón.

Este proceso de trituración secundaria es muy versátil ya que podemos triturar la piedra para llegar al tamaño que nosotros queremos. Los equipos que operan en la planta son los siguientes: Un cono G, un cono Symons 5½, un cono Symons 4½ y una trituradora Gyradisco. A las máquinas Symons se las considera trituración terciaria y a la Gyradisco como trituración cuaternaria. El segundo y el tercer zarandeo están constituidos por 2 pisos cada uno.

La piedra del primer zarandeo es clasificada según el tamaño en 4 silos diferentes, los cuales se encargan de almacenar el material para luego ser fraccionadas por las distintas trituradoras. Una vez fraccionado el material, este vuelve a ser clasificado hasta lograr un pasante de 38 mm.

1.2.1. Segundo zarandeo (2Z)

El segundo zarandeo esta formado por las zarandas B21, B22, B41 y B42. Las dos primeras están en el primer piso de la torre de zarandeo y las otras dos en el segundo piso. En la tabla 1.3 se detallan sus características principales. Las dos primeras zarandas se diferencian solo en las mallas que forman los pisos de cada una. En la figura (Diagrama general de la planta) se indican las zarandas antes mencionadas.

TABLA 1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGUNDA ZARANDA (2Z)

| ZARANDA | B21, B22 | B41, B42 |
|------------|------------|------------|
| Marca: | VENNAZETTI | VENNAZETTI |
| Modelo: | MARE FFI | MARE 2100 |
| Potencia: | 22KW | 22KW |
| Capacidad: | 429 TPH | 330 TPH |

En este proceso se quiere clasificar la piedra. Los de mayor granulometría serán triturados, no así las de menor granulometría; ya que éstos son áridos obtenidos como producto durante el segundo zarandeo.

1.2.1.1 Obtención y clasificación de áridos.

Se clasificará la piedra triturada de acuerdo a su granulometría, sobre la base de los procesos de zarandeo. Todo el material que ingresa a la Symons 5½ hasta que llegue nuevamente a las zarandas es otro proceso de trituración. Cada zaranda está compuesta de dos pisos, y en cada piso formada por 5 mallas juntas. Algunas piedras regresan a las zarandas o a las trituradoras, otros salen como producto terminado.

En la siguiente tabla se detallan las características de los áridos que se obtienen en este segundo zarandeo:

TABLA 1.4. CARACTERÍSTICAS DE ÁRIDOS OBTENIDOS (2Z)

| <i>Piedra Homogenizada (5 - 25 mm)</i> | |
|--|--|
| <i>Norma ASTM C-33 N 57</i> | |
| <i>Definición</i> | <i>Producto especialmente diseñado para la preparación de hormigones de alta resistencia, que evita la mezcla en obra de la chispa, grava y gravilla, es una piedra caliza triturada compactada, de poca porosidad, muy granular, de forma cúbico angular.</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Preparación de hormigones derivados de alta resistencia.</i> |
| <i>Rango de granulometría</i> | <i>5 - 25 mm.</i> |
| <i>Árido angular (0 - 38,1 mm)</i> | |
| <i>Norma ASTM C-33 N 57</i> | |
| <i>Definición</i> | <i>Un árido angular, triturado en el 100% obtenido de piedra mecánicamente estable, de forma cúbico angular.</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Cimentaciones de calles, carreteras, patios, sirven de drenaje al pavimento evitando su hinchamiento.</i> |
| <i>Rango de granulometría</i> | <i>0 - 38,1 mm.</i> |

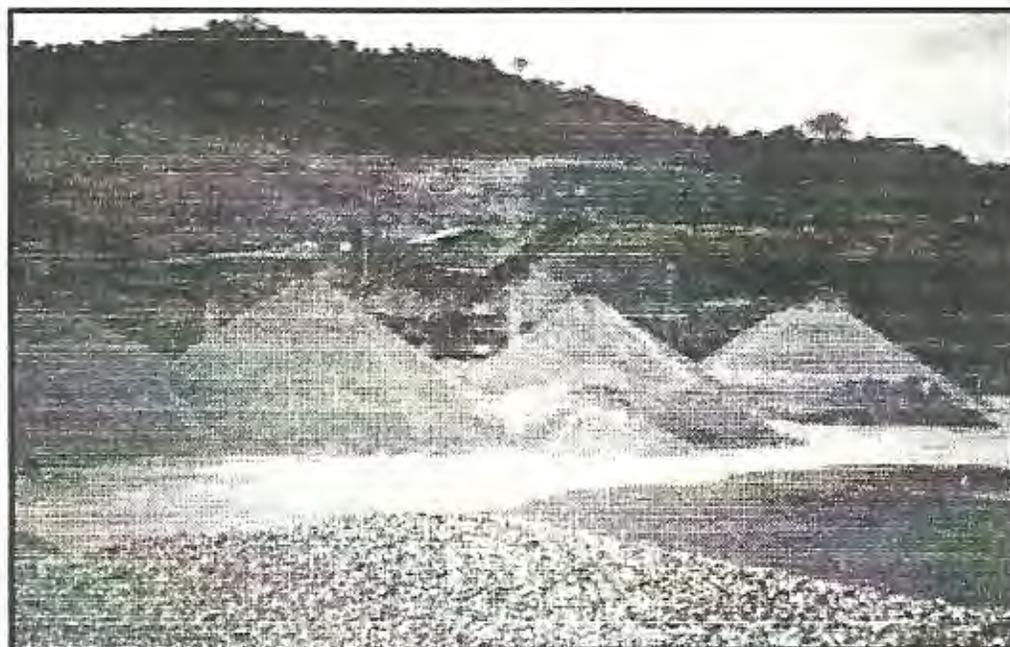


FIG 1.5. ARIDOS OBTENIDOS Y CLASIFICADOS (2Z)

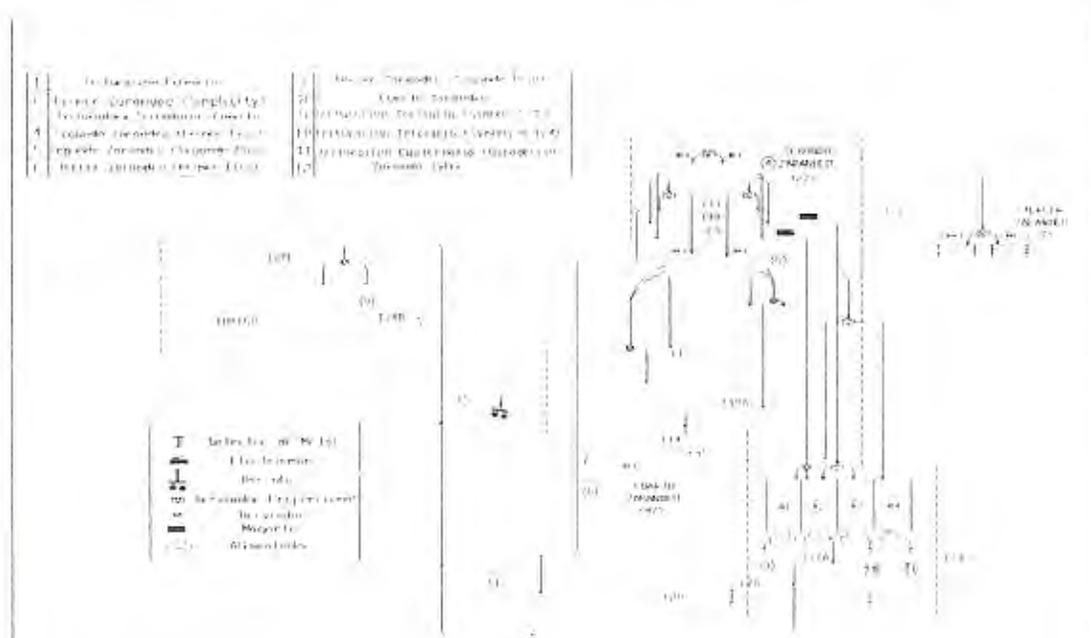


FIG 1.6. DIAGRAMA DE FLUJO SEGUNDO ZARANDEO (2Z)
Y PROCESOS DE TRITURACIÓN.

1.3. Proceso de trituración terciaria.

1.3.1. Tercer zarandeo (3Z)

En la figura 1.6 nos muestra el diagrama de flujo del segundo zarandeo con los procesos de trituraciones (secundaria y terciaria). El material que va por la cinta C21 ingresa al proceso del tercer zarandeo, siendo estos los que salen de las zarandas del segundo piso (B4-1y B4-2). El tercer zarandeo está formado por las zarandas B18-1 y B18-2 en el primer piso y en el segundo se encuentra la zarando B23. Atrás del tercer zarandeo se encuentran las trituradoras; el cono G, Symons 5½, Symons 4½ y la trituradora Gyradisco.

A continuación detallaremos sus características principales

TABLA 1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS TRITURADORAS (3Z)

| Modelo | 5 1/2 | G - Y R - 48 | G - 3812 | 5 1/2 |
|-----------|---------|--------------|----------|---------|
| Modelo | 4 1/2 | G - Y R - 48 | G - 3812 | 5 1/2 |
| Potencia | 152 KW | 160 KW | 300 HP | 300 HP |
| Capacidad | 165 TPH | 80 TPH | 4800 TPH | 340 TPH |

El material que tenga mayor granulometría volverá a circular en las dos zarandas anteriores. En este proceso se quiere obtener la clasificación de la piedra chispa y arena.

1.3.1.1. Obtención y clasificación de áridos.

En esta etapa de tercer zarandeo, todas las granulometrías de mayor tamaño de 75 – 200 mm, pasan a las trituradoras y las granulometrías de 12 – 38 mm pasan al 4to zarandeo para su respectiva clasificación. Las que tienen una granulometría de 0 – 12 mm se clasifican en las zarandas B18-1 y B18-2, obteniéndose los productos que detallamos en la tabla 1.6. A continuación en la figura 1.7 se indica el diagrama de flujo del tercer zarandeo.

TABLA 1.6. CARACTERÍSTICAS DE ARIDOS OBTENIDOS (3Z)

| <i>Arena para asfaltos (0-45 mm)</i> <i>Norma ASTM D-448 N°10</i> | |
|---|---|
| <i>Descripción</i> | <i>Es una caliza de forma cúbico angular. Es un árido obtenido de la trituración y cribado.</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Para la elaboración de asfalto.</i> |
| <i>Rango Granulométrico</i> | <i>0 – 4,75 mm.</i> |
| <i>Piedra Chispa Fina (2 – 9 mm)</i> <i>Norma ASTM C-33 N°8</i> | |
| <i>Descripción</i> | <i>Una piedra triturada, compactada de poca porosidad, muy granular y de forma cúbico angular.</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Preparación de hormigones, derivados de alta resistencia y asfaltos</i> |
| <i>Rango Granulométrico</i> | <i>2 – 9 mm.</i> |
| <i>Piedra Chispa Gruesa (2 – 12 mm)</i> <i>Norma ASTM C-33 N°8</i> | |
| <i>Descripción</i> | <i>Una piedra caliza triturada, compacta de poca porosidad, muy granular y de forma cúbico angular.</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Preparación de hormigones, derivados de alta resistencia y asfaltos.</i> |
| <i>Rango Granulométrico</i> | <i>2 – 12 mm.</i> |

TABLA 1.7. CARACTERÍSTICAS DE LA ZARANDA B13 (4Z)

| CARACTERÍSTICAS DE LA ZARANDA B13 (4Z) | |
|--|-----------|
| Marca: | VENAZETTI |
| Modelo: | MARE 2100 |
| Potencia: | 22 K W |
| Capacidad: | 420 TPH |

A la trituradora Gyradisco (trituración cuaternaria), se la alimentará de cualquiera de los productos antes mencionados, para la obtención de chispas y arenas que se clasificarán en la zaranda B23. También se produce una arenilla que va por la cinta C27 hacia el separador de polvo.

La Fig. 1.1 muestra un diagrama general de la planta, indicando las secciones primaria, secundaria y terciaria, las zarandas, las bandas transportadoras, los productos obtenidos en cada zarandeo de acuerdo a su granulometría, etc.

1.4.1.1. Obtención y clasificación de áridos.

Cualquiera de estos productos (arena para asfaltos, chispa fina, chispa gruesa), alimenta a la zaranda B23, la cual clasifica la piedra de mayor tamaño(12 – 38), para ser triturada en la Gyradisco y el pasante del primer piso y retenido del segundo piso sale con una granulometria de 5- 12 mm(chispa gruesa) y los pasantes del segundo piso (0 – 5)mm es el producto llamado arena.

Si se quiere obtener hormigones resistentes y de buena calidad es indispensable utilizar áridos de buena calidad, ya que el hormigón no es otra cosa que piedra y arena cohesionados por el cemento, que toma la forma de moldes diseñados previamente.

Los áridos deben estar libres de toda impureza, como arcillas, sales, materias orgánicas, etc., puesto que éstos afectan al cemento y disminuyen la resistencia final del conjunto. El proceso industrial de un buen árido debe ser cuidadosamente planificado y hecho

bajo normas de control de calidad. A continuación en la tabla 1.8, se detallan las características de los productos obtenidos en este proceso:

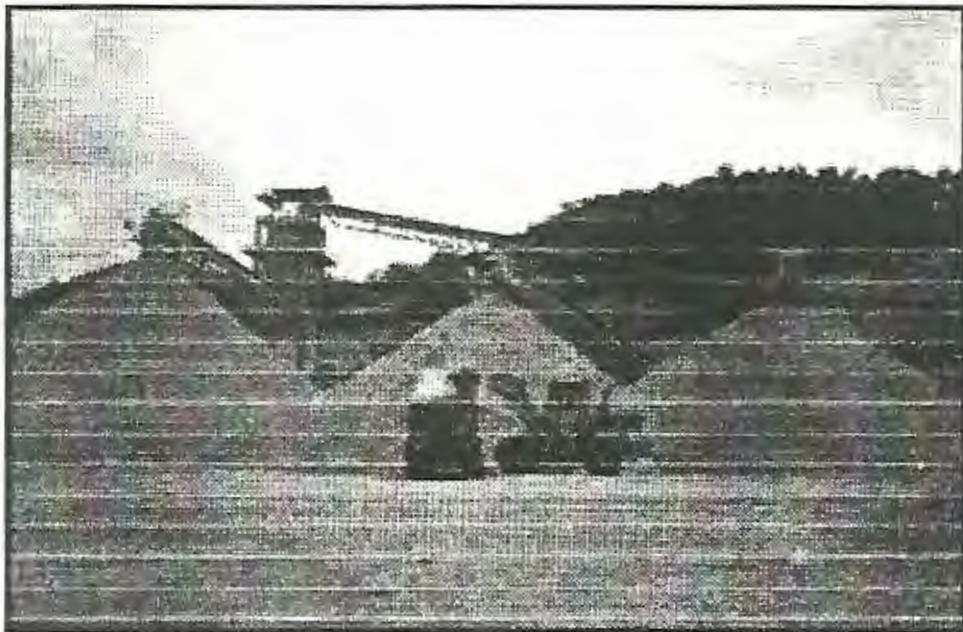


FIG 1.10. ARIDOS OBTENIDOS Y CLASIFICADOS (4Z).

TABLA 1.8 CARACTERÍSTICAS DE ARIDOS OBTENIDOS (4Z).

| <p style="text-align: center;"><i>Piedra (5-38 mm)</i> Norma ASTM C-33 N°467</p> | |
|---|---|
| <i>Descripción</i> | <i>Producto para la preparación de hormigones de alta resistencia: es una caliza triturada compacta, de forma cúbico angular</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Preparación de hormigones, derivados de alta resistencia y asfaltos.</i> |
| <i>Rango Granul:</i> | <i>4 75 – 38 mm.</i> |
| <p style="text-align: center;"><i>Piedra (9 – 25mm) 3/4</i> Norma ASTM C-33 N°56</p> | |
| <i>Descripción</i> | <i>Producto para la preparación de hormigones de alta resistencia: es una caliza triturada compacta, de forma cúbico angular</i> |
| <i>Usos</i> | <i>Preparación de hormigones, derivados de alta resistencia y asfaltos</i> |
| <i>Rango Granul</i> | <i>9 – 25 mm.</i> |
| <p style="text-align: center;"><i>Piedra N°4 (19 – 38 mm)</i> Norma ASTM C-33 N°4</p> | |
| <i>Descripción</i> | <i>Producto para la preparación de hormigones de alta resistencia: es una caliza triturada compacta, de forma cúbico angular.</i> |
| <i>Usos:</i> | <i>Preparación de hormigones, derivados de alta resistencia y filtros de drenajes.</i> |
| <i>Rango Granul:</i> | <i>19,0 – 38 mm.</i> |

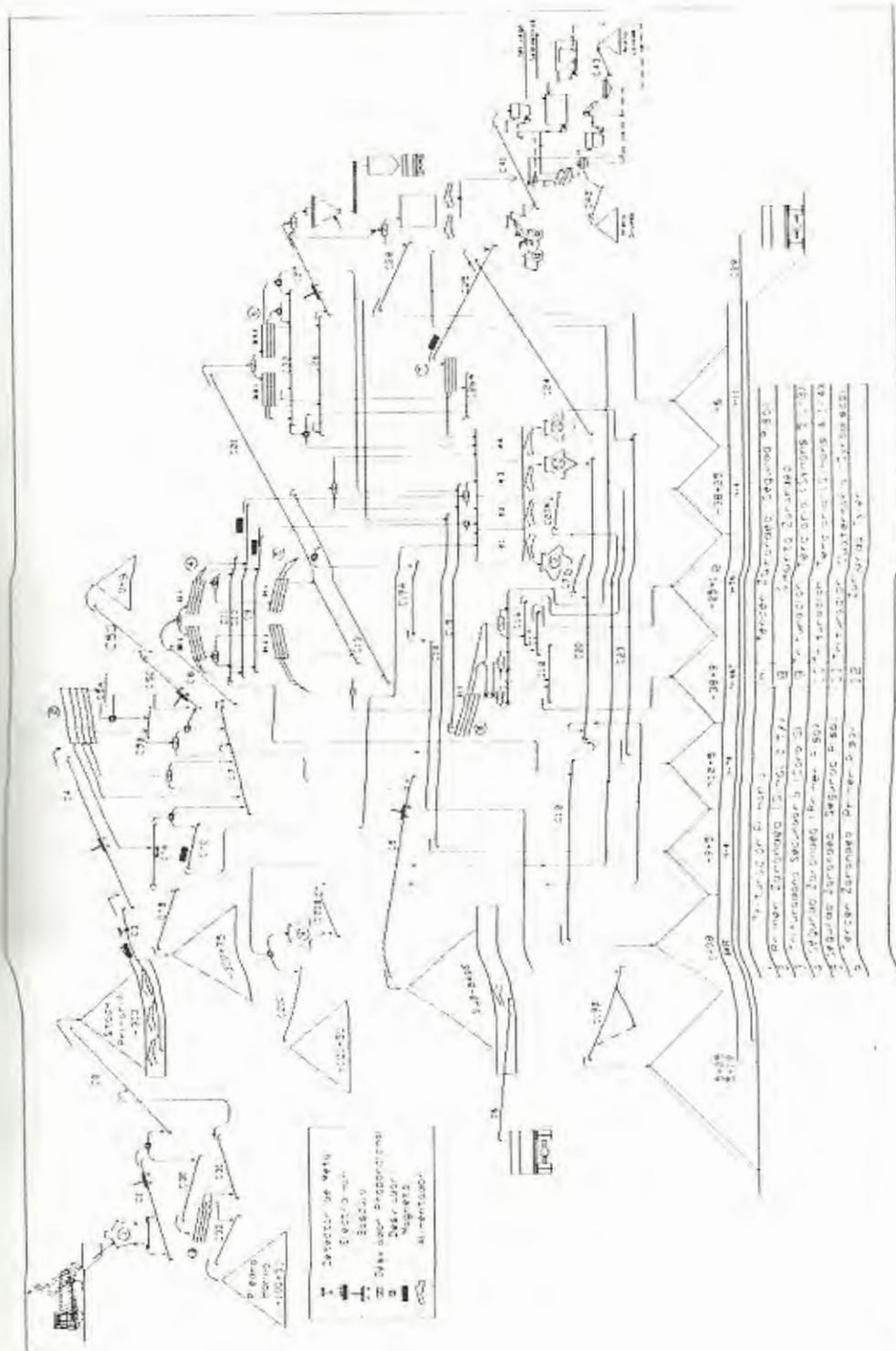


FIG.1.11. DIAGRAMA DE FLUJO (PLANTA DE AGREGADOS)

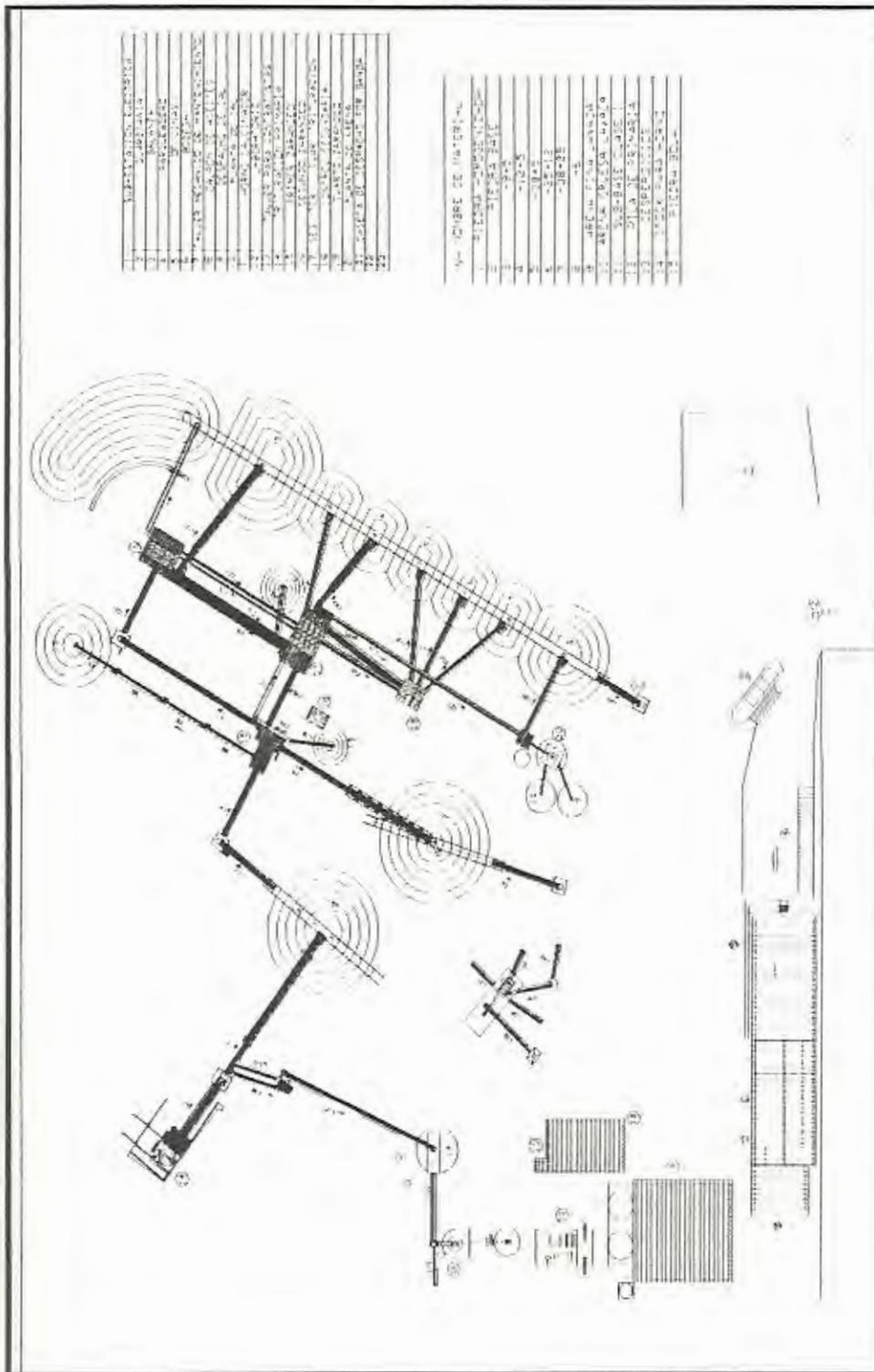


FIG 1.1.2. DIAGRAMA GENERAL DE LA PLANTA DE AGREGADOS

A continuación detallaremos el proceso en la planta lavadora de arena. El material entra a la tolva de arena, dirigiéndose a la turbina principal, a través de una manguera, enviándola hacia el primer ciclón, para luego entrar al primer escurridor estático, es una máquina que opera como una zaranda, con la finalidad de extraer la humedad de la arena. El primer escurridor estático tiene un motor que produce vibraciones, lo que permite que la arena pasante tenga una menor cantidad de agua. Existen 2 escurridores estáticos en la planta, una para la arena fina y otro para la arena gruesa. La arena entrante al primer escurridor tiene un rango granulométrico máximo hasta 4,75 mm.

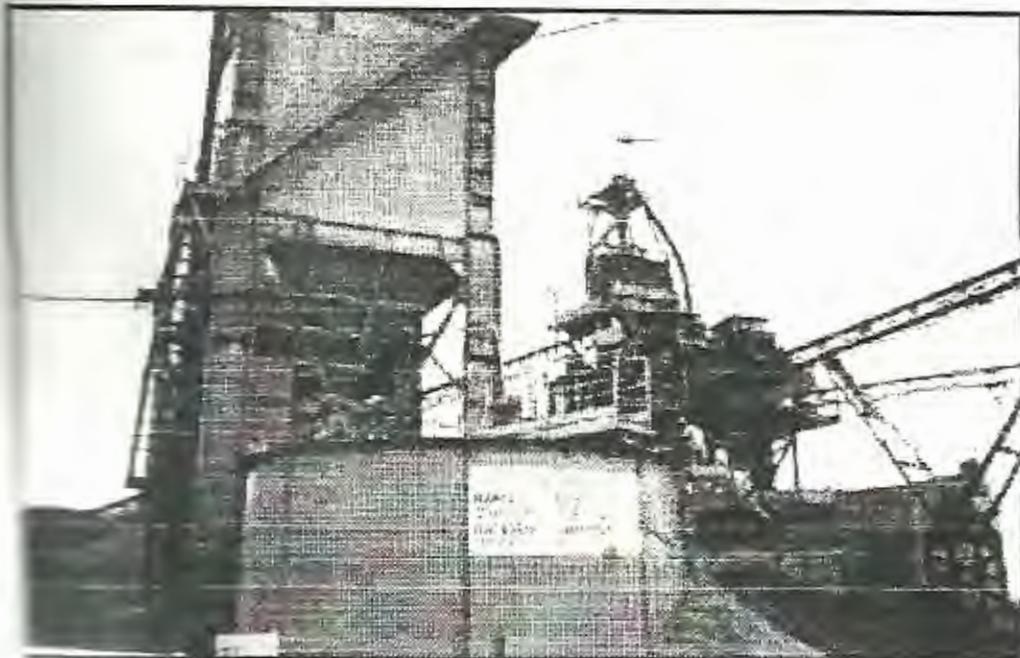


FIG 2.2 PLANTA LAVADORA DE ARENA (S-D)

El material retenido en el primer escurridor va a la cinta C42 como producto terminado, es decir, la denominada arena gruesa lavada, con un rango granulométrico de (1.5 – 4.75) mm. La arena pasante que sale del primer escurridor va hacia un canalón que lo lleva a la tolva de arena fina y después va a la turbina secundaria que la conduce hacia el segundo ciclón, para finalmente ser depositada en el segundo escurridor. El material retenido en el segundo escurridor, es transportado por la cinta C43 como producto denominado arena fina lavada, con un rango granulométrico de (0 – 2,50 mm)

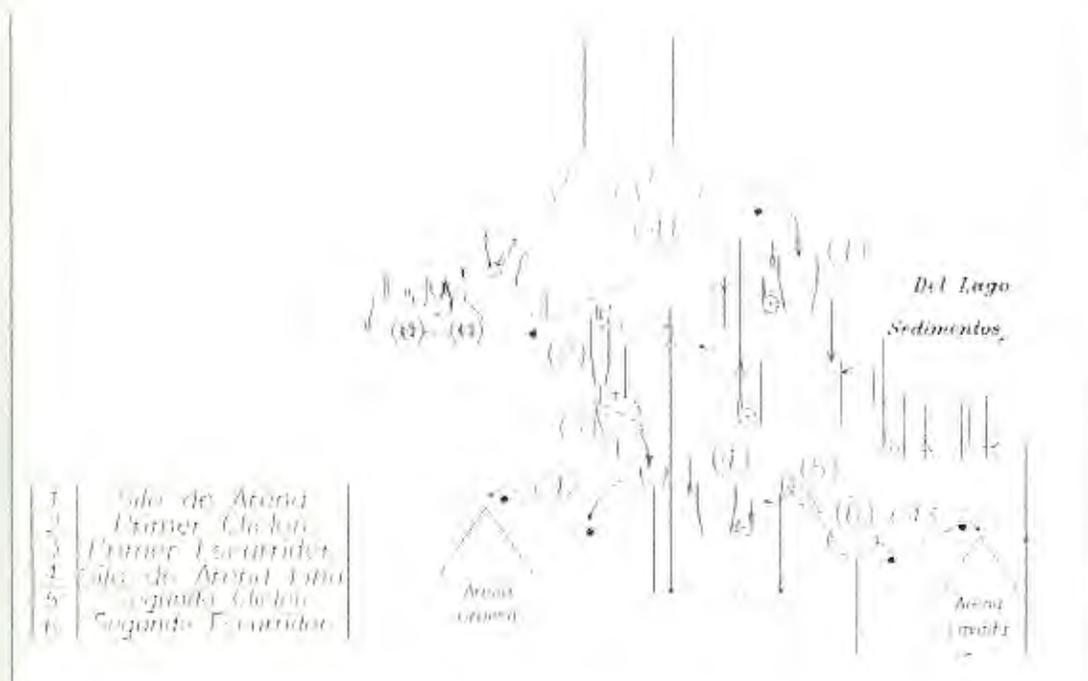


FIG 2.3. DIAGRAMA DE FLUJO DELA PLANTA LAVADORA DE ARENA

Los pasantes del segundo escurridor son conducidos hacia un decantador, que por medio de un floculante hace que el lodo descienda en su parte inferior, para luego ser expulsado, por medio de una bomba de lodo, hacia las piscinas de sedimentación de lodos.

El agua en su totalidad, que se encuentra en la superficie del decantador, es llevada hacia una cisterna, para que por medio de otra bomba vuelva a ser utilizada el proceso de lavado.

En el diagrama de flujo (Fig. 2.3) se observa que una pala cargadora (CAT), alimenta a la planta por la cinta C41, particular que ocurre cuando no se puede suministrar el material directamente desde el tercer zarandeo, o cuando la planta de agregados no está funcionando ya sea por mantenimiento o algún imprevisto.

En la siguiente tabla se detallarán las características principales de las arenas obtenidas, especificando los valores de: masa unitaria, densidad, absorción, módulo de finura, durabilidad, abrasión y plasticidad.

TABLA 2.1. PROPIEDADES DE LA ARENA GRUESA LAVADA

| <i>Piedra Homogenizada (5 - 25 mm)</i> | |
|--|---|
| <i>Norma ASTM C-33 N°57</i> | |
| <i>Descripción:</i> | <i>Es una piedra de forma cúbico angular. Es un árido lavado de toda impureza.</i> |
| <i>Uso</i> | <i>Para la elaboración de hormigones, derivados de alta resistencia y para asfaltos</i> |
| <i>Rango</i> | <i>1,5 - 4,75 mm.</i> |
| <i>Granulométrico.</i> | |
| <i>Masa unitaria</i> | <i>1580 kg/m³</i> |
| <i>Densidad</i> | <i>2600 kg/m³</i> |
| <i>Absorción:</i> | <i>3 %</i> |
| <i>Mod. de línea:</i> | <i>4,40 ± 0,20</i> |
| <i>Durabilidad:</i> | <i>Desgaste "Sulfato de Sodio"</i> |
| <i>Abrasion:</i> | <i>Desgaste "Los Angeles": 24%</i> |
| <i>Plasticidad:</i> | <i>0%</i> |

2.3. Secciones de la planta lavadora de arena.

Se hará un estudio y análisis de las secciones más importantes de la planta lavadora de arena describiendo el funcionamiento de cada uno de ellos. En la figura 2.4, observamos la banda C-27 que alimenta al separador, luego al silo de arena, finalmente llega a la banda C-41 que transporta el material a la planta de arena (Fig. 2.1).



FIG 2.3. PLANTA LAVADORA DE ARENA (S-S-D)

2.3.1.1. Descripción del funcionamiento del separador.

Al separador de polvo, lo dividiremos en varias secciones para poder explicar su funcionamiento, como se muestra en la figura 2.5.

TABLA 2.3. SEPARADOR DIVIDIDO EN SECCIONES

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 Mecanismo | 8 Ventilador principal | 15. Cono de finos |
| 2 Cono de alimentación | 9 Paletas de selección | 16 Sist. automático mando de registros |
| 3 Núcleo de distribución | 10 Tapa del tambor interior | 17 Tambor exterior |
| 4 Disco de distribución | 11 Registros de control finos | 18 Tambor interior |
| 5 Disco superior de Distribución | 12 Paletas de retorno de aire | 19 Canal de rechazos |
| 6 Zona de separación | 13. Cono de rechazos | 20. Canal de finos |
| 7 Zona de selección | 14 Tambor interior | 21. Puerta de visita |

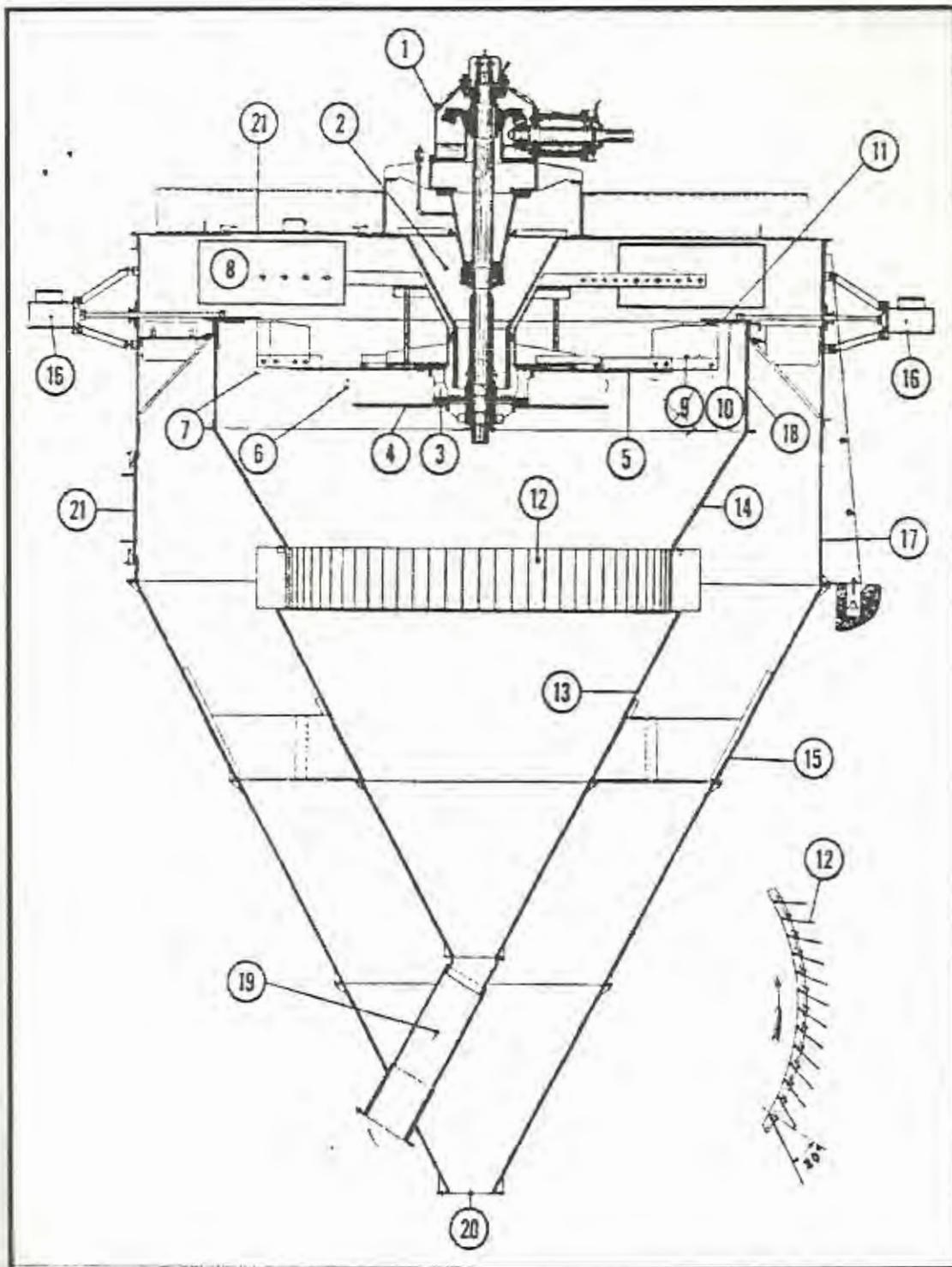


FIG 2.6. SEPARADOR DE POLVO DIVIDIDO EN SECCIONES

El material a seleccionar es introducido por el canal de alimentación, de donde cae por gravedad en el CONO DE ALIMENTACIÓN (2) Y EN EL NÚCLEO DEL DISCO DE DISTRIBUCIÓN (3)

EL DISCO DE DISTRIBUCIÓN (4) es una placa giratoria que origina el efecto de la fuerza centrífuga, que obliga a las partículas en movimiento circular a separarse del centro de rotación, siendo proyectadas hacia la periferia a través de las aberturas del núcleo de distribución, al abrigo del DISCO SUPERIOR DE DISTRIBUCIÓN (5) Y EN LA ZONA DE SEPARACIÓN (6)

Cuanto más pesada es la partícula, mayor será el efecto de la fuerza centrífuga. La velocidad debe ser controlada con objeto de que la fuerza centrífuga sea lo suficientemente grande para que las partículas sean proyectadas en la zona de separación a un ritmo mayor que la entrada del material en el separador por el canal de alimentación. La

separación inicial tiene lugar en la zona de separación.

Cuando las partículas más gruesas o más pesadas son proyectadas hacia la periferia, la fuerza centrífuga disminuye, y las partículas gruesas caen por su propio peso en la cámara de rechazos.

Las partículas más finas o más livianas tienen una trayectoria más lenta hacia la periferia, siendo arrasadas por la corriente de aire descendente creada por el ventilador principal y elevadas hacia la ZONA DE SELECCIÓN (7)

EL VENTILADOR PRINCIPAL DE CIRCULACIÓN (8) crea una corriente continua de aire. Una pequeña parte de este aire es arrastrada por la materia entrante y puesta en circulación a través de las zonas de separación y de selección en un movimiento ascendente en espiral hasta la cámara de finos y reenviado mediante las paletas de retorno de aire a la zona de separación.

El ventilador de selección consiste en una serie de aletas montadas sobre el disco superior de distribución. Este ventilador realiza dos funciones en la selección final y la clasificación. La primera es un clasificador rotativo, por el cual deben pasar todos los finos o el material deseado para llegar a la cámara de finos. El grado de selección final se determina por la cantidad y dimensiones de las aberturas a través de las cuales pasa el material. Se obtiene un gran margen de selectividad haciendo variar la velocidad, la dimensión de las aberturas y la longitud de las aletas.

La segunda función del ventilador de selección es provocar un efecto centrifugo suplementario. Las partículas más pesadas son proyectadas más lejos hacia el exterior bajo el borde anular de la TAPA DEL TAMBOR INTERIOR (10) al abrigo de la corriente de aire ascendente, mientras las partículas finas y livianas son arrastradas a través del ventilador de selección hacia la cámara de finos.

selección, creando una estrangulación sobre las aletas de selección.

Las paletas de retorno de aire están situadas entre el CONO DE RECHAZOS (13) y el CONO DEL TAMBOR INTERIOR (14). Estas paletas rompen el torbellino de aire ascendente en la cámara de finos permitiendo a los finos continuar hacia el CONO DE FINOS (15).

La regulación del aparato varía según el género del material a seleccionar, su peso específico, la granulometría del producto deseado, su humedad, el porcentaje de material fino en la alimentación, la forma de este, etc.

Los medios de regulación para variar la granulometría del producto acabado son los siguientes:

- 1.- Registros de control
- 2.- El número de paletas de selección.
- 3.- Longitud de las paletas de selección.
- 4.- Control de la velocidad.

5.- Paletas del ventilador principal

De lo antes mencionado podemos concluir del punto 1 y 4 lo siguiente:

Los registros se fijan sobre el borde anular del cilindro interior y son accionados sea manual mediante espárragos, o sea, por el SISTEMA AUTOMÁTICO DE REGULACIÓN (16)

El desplazamiento de los registros hacia el interior da lugar a la obtención de un producto más fino, siendo por el contrario más fino si son desplazados hacia el exterior. Que la producción máxima es alcanzada cuando los registros están totalmente abiertos, es decir, completamente desplazadas hacia el exterior.



Normalmente la velocidad ha sido fijada y el aparato es calibrado para una velocidad determinada.

Los separadores de aire destinados a funcionar en un circuito cerrado de trituración están equipados con el sistema de control de finos: "Fineness Control".

Hay una relación bien definida entre el número de paletas de selección y la posición de los registros de control. Esta relación deberá ser determinada mediante pruebas en las condiciones normales de trabajo hasta obtener el máximo rendimiento.

Si el material es demasiado fino, se sustituyen 4 ó 6 paletas principales, retiradas de forma simétrica por aletas de selección, recomenzando la prueba. Una correcta regulación inicial del separador de aire permitirá obtener todas las cualidades del material sin necesidad de detener el aparato.

Los modos de regulación 2, 3 y 4 para variar la granulometría serán analizados mas adelante, en el estudio y análisis de las paletas de selección.

- 6 paletas principales
- 16 paletas de selección
- 72 paletas cortas

No olvidemos que el ventilador de selección representa un doble papel en la selección final y la clasificación. El grado de selección se determina por la cantidad y dimensiones de las aberturas de las cuales pasa el material, y para obtener un gran margen de selectividad se hace variar la velocidad, la dimensión de las aberturas y la longitud de las aletas de selección. Por lo tanto, haremos el estudio comparativo de los datos de la tabla 2.4. con un motor de 100 HP que dispone la planta.

TABLA 2.4. PROPIEDADES DEL SEPARADOR

| SEPARADOR DE POLVO | |
|--------------------|------------|
| Marca: | STURTEVANT |
| Modelo: | 75 HP |
| Capacidad: | 80 TPH |

2.3.2. Decantador.

Cuando el proceso de decantación se realiza dinámicamente, es decir, cuando la separación de las dos fases líquido-sólido se efectúa de forma continua, estando el agua en movimiento permanente en el decantador, el diseño de este equipo no puede hacerse partiendo únicamente de la noción de velocidad ascensional.

2.3.2.1. Parámetros que definen la estructura de un decantador.

Para definir la estructura del Decantador se hace necesario que se tengan en cuenta otros parámetros tales como la relación altura-diámetro, los números de Reynolds y de Froude, cuyos valores deben conciliarse en diferentes puntos del equipo para asegurar un flujo lo menos turbulento posible y al mismo tiempo, suficientemente homogénea, la disipación de energía al nivel de la distribución del agua a la entrada del equipo, que debe hacerse progresivamente, de forma que no se creen

turbulencias perjudiciales para la decantación, al mismo tiempo que se consiga una alimentación uniforme de la zona de decantación. Debe prestarse especial atención a los dispositivos de recolección de agua decantada, que siempre debe hacerse de forma homogénea

El estudio hidráulico del sistema no se limita únicamente a la fase líquida, sino que se refiere al flujo, a la concentración y a la evacuación de los lodos producidos, cuyos parámetros característicos conoce, por experiencia, el especialista en tratamiento de aguas.

2.3.2.2. Clasificación de un decantador según el tipo de equipo.

Un decantador, por lo tanto, no debe ser considerado como una simple cuba, sino como un conjunto, más o menos complejo según el tipo de equipo, cuyo rendimiento está condicionado por su hidráulica, que debe ser objeto de un estudio minucioso.

Los decantadores se clasifican en:

1.- Decantadores Estáticos

a.- **Decantadores Estáticos sin rascado**

Decantadores cilindro-cónico normales

Decantadores estáticos de flujo horizontal

Decantadores estáticos laminares

b.- **Decantadores Estáticos con barrido mecánico de lodos**

Decantadores circulares

Decantadores longitudinales rectangulares

c.- **Decantadores Estáticos con succión de lodos**

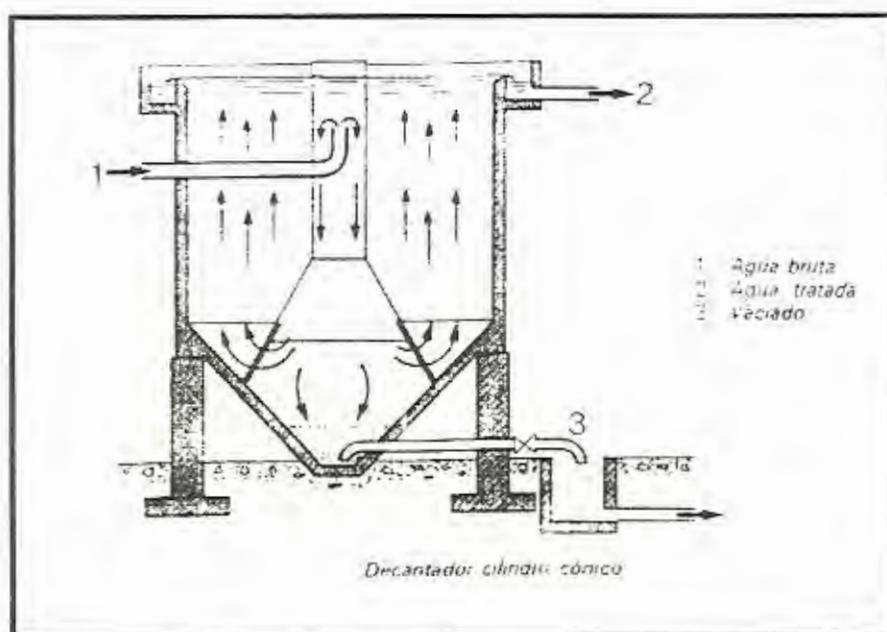
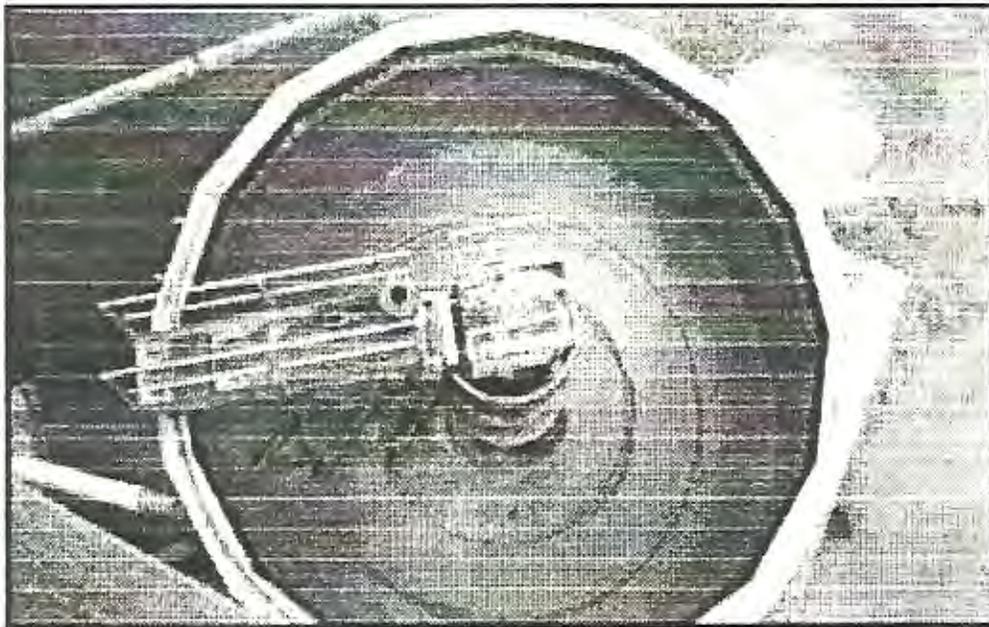


FIG 2.7. DECANTADOR ESTÁTICO SIN RASCADO(Cilindro-Cónico)

Nuestro objetivo es centrarnos en los decantadores estáticos con barrido mecánico de lodos, debido a que en la fábrica se dispone de un Decantador circular.

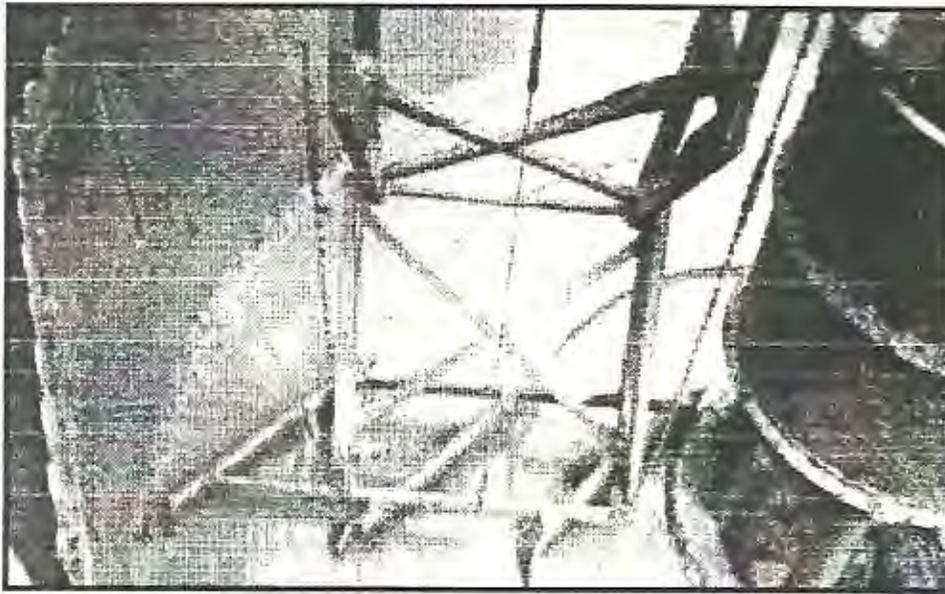


**FIG 2.9. DECANTADOR ESTÁTICO CON BARRIDO MECÁNICO DE
LODOS**

2.3.2.3. Decantador estático con barrido mecánico de lodos.

La costumbre ha hecho que el término estático se reserve para designar a los decantadores que no son ni de recirculación de lodos ni de lecho de lodos aunque en estos equipos la decantación se efectúa, de hecho, según un proceso dinámico. Según la cantidad de materia en suspensión en el agua bruta, el volumen de los precipitados a evacuar y la pendiente del fondo del aparato, el decantador puede equiparse o no con un sistema de rascado de lodos.

Los decantadores de rasquetas se utilizan, generalmente, en el desbaste de agua bruta, y en el tratamiento primario, clarificación y depuración química de aguas residuales. Igualmente se utilizan, en la depuración de aguas de minas, aguas de lavado de carbón y, en general, de cualquier tipo de agua que contenga materias pesadas que puedan sedimentar espontáneamente.



**FIG 2.10. SISTEMA DE BARRIDO DE LODOS EN EL FONDO DEL
DECANTADOR ESTÁTICO**

Es conveniente que los lodos puedan extraerse a medida que se van formando. Con el barrido de lodos en el fondo del decantador se consigue el espesamiento de los mismos: el volumen a extraer es pequeño y la pérdida de agua evacuada con los lodos es mínima (Fig.2.10). Por otra parte, mediante este barrido, los lodos pueden enviarse a una o varias fosas especiales, de las que más tarde son extraídos.

La velocidad de desplazamiento de las rasquetas destinadas a reunir los lodos en a fosa de concentración y evacuación, depende del porcentaje de sólidos en suspensión en el agua a tratar, así como de su densidad.

2.3.2.4. Descripción del funcionamiento del decantador.

En los decantadores circulares, el sistema de barrido va sujeto a una estructura que gira alrededor del eje del depósito. Puede llevar una sola lámina o bien una serie de rasquetas montadas en celosía.

Según el tratamiento utilizado y la calidad del agua tratada, puede ser conveniente prever un sistema de eliminación de espumas en superficie. Este sistema se utiliza especialmente en aguas residuales.

El sistema de barrido puede ser radial o diametral y, en este segundo caso, se duplican los rascadores del fondo. Este sistema es accionado por una estructura giratoria, de arrastre periférico o central.

La construcción más frecuente es la del puente radial de arrastre periférico. Un grupo moto reductor montado sobre el puente, acciona una rueda motriz que se desplaza sobre el muro de coronación del decantador. La barreadera de superficie va fijada rigidamente a la pasarela giratoria, y las rasquetas de fondo, cuya fijación generalmente va articulada, son arrastradas por la misma pasarela.

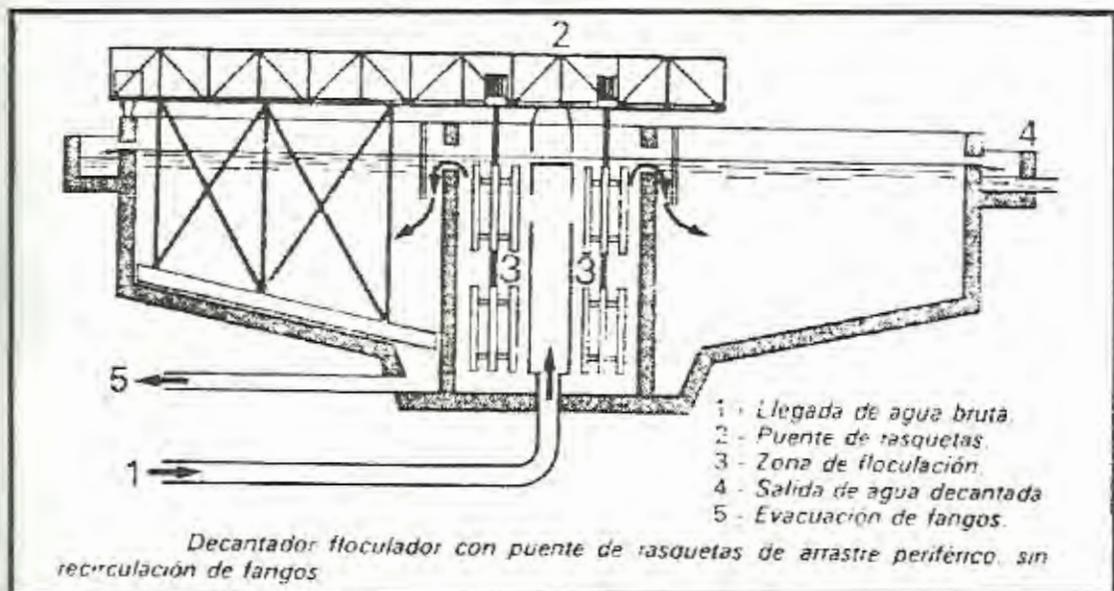


FIG 2.11. DECANTADOR DIVIDIDO EN SECCIONES

En el caso de arrastre central, la estructura metálica se compone de dos brazos suspendidos de una corona dentada central, accionada por un grupo motor reductor fijo. Los rascadores de fondo y de superficie son adjuntos de la estructura giratoria. La corona central y el grupo de arrastre pueden apoyarse sobre una pasarela diametral fija, o sobre una columna central de hormigón, que descansa sobre el fondo del decantador como se muestra en la figura (2.11). La pendiente de solera en la que se efectúa el barrido de lodos, es del 4 al 10%. Los lodos, concentrados en una fosa central son evacuados por un sistema automático de extracción.

Los decantadores circulares de rasquetas pueden equiparse con un floculador de agitación lenta, que se sitúa en el centro del aparato.

A continuación, el agua floculada pasa, a través de amplias aberturas sin vertedero (con el fin de evitar una turbulencia excesiva), a la zona periférica de decantación, en la que se depositan las partículas

floculadas y las materias en suspensión. El diámetro de un tanque circular también depende del volumen de vertido, del volumen necesario, y de la profundidad. Igual que para los tanques rectangulares, se fabrica equipo en ciertos tamaños estándar. Generalmente el fondo del tanque tiene forma de cono, con una pendiente de 1 pulg. Vertical en 1 pie horizontal. Tomando como base estas condiciones, el volumen se encuentra mediante la fórmula:

$$V = d^2(0.011d + 0.785h)$$

En donde V = volumen del tanque circular, en pies cúbicos;

d = diámetro del tanque, en pies;

h = profundidad vertical en el muro, o profundidad del lado del agua, en pies.

Los decantadores circulares de rasquetas generalmente tienen alturas periféricas de aguas comprendidas entre 2 y 3,50 m.

2.3.2.5. Análisis de las condiciones de operación y capacidad del decantador.

En el siguiente cuadro se detallan sus características más importantes:

TABLA 2.5. PROPIEDADES DEL DECANTADOR

| PROPIEDADES DEL DECANTADOR | |
|----------------------------|---------|
| Marca: | MINOBRA |
| Potencia: | 90 KW |
| Capacidad: | 50 TPH |

Conociendo las medidas actuales del decantador, tales como: diámetro, altura, podemos calcular su volumen aplicando la fórmula antes descrita:

$$d = 6 \text{ metros (diámetro del decantador)}$$

$$h = 2,6 \text{ metros (altura vertical)}$$

$$V = d^2(0.011d + 0.785h)$$

$$V = 6^2(0.011 \times (6) + 0.785 \times (2,6))$$

$$V = 75,852 \text{ m}^3$$

La estructura metálica que gira en el centro del decantador tiene una velocidad angular en RPM muy baja, se demora 7 minutos en dar una vuelta completa, es decir, su valor es de 0.143 RPM aproximadamente.

En un intervalo de cada 8 horas se coloca floculante en el centro del eje, la cantidad depende de las toneladas de arena que ingresen a la planta a lavarse. Frecuentemente, cada 3 meses, se vacía el decantador para sacar los lodos que se acumulan en fondo.

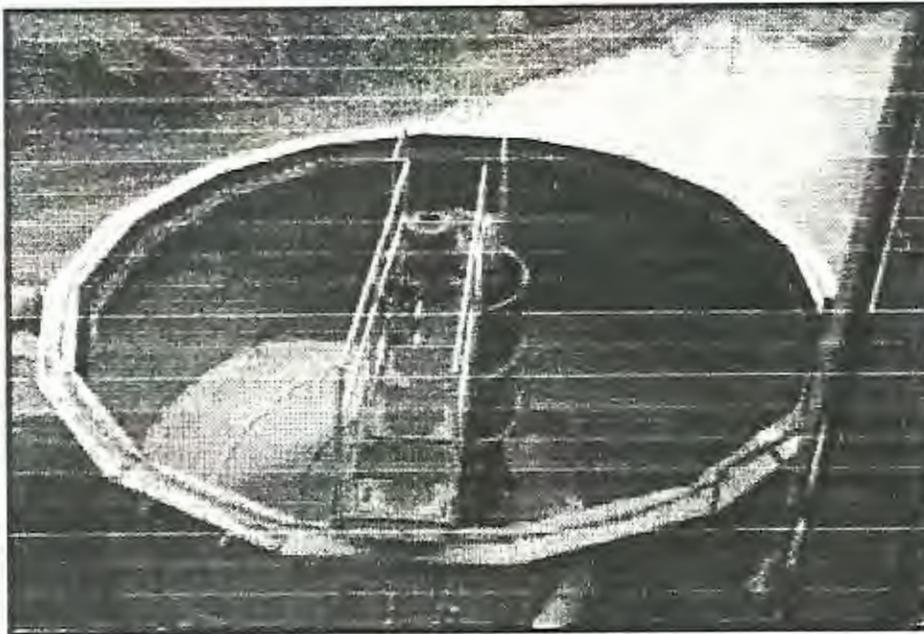
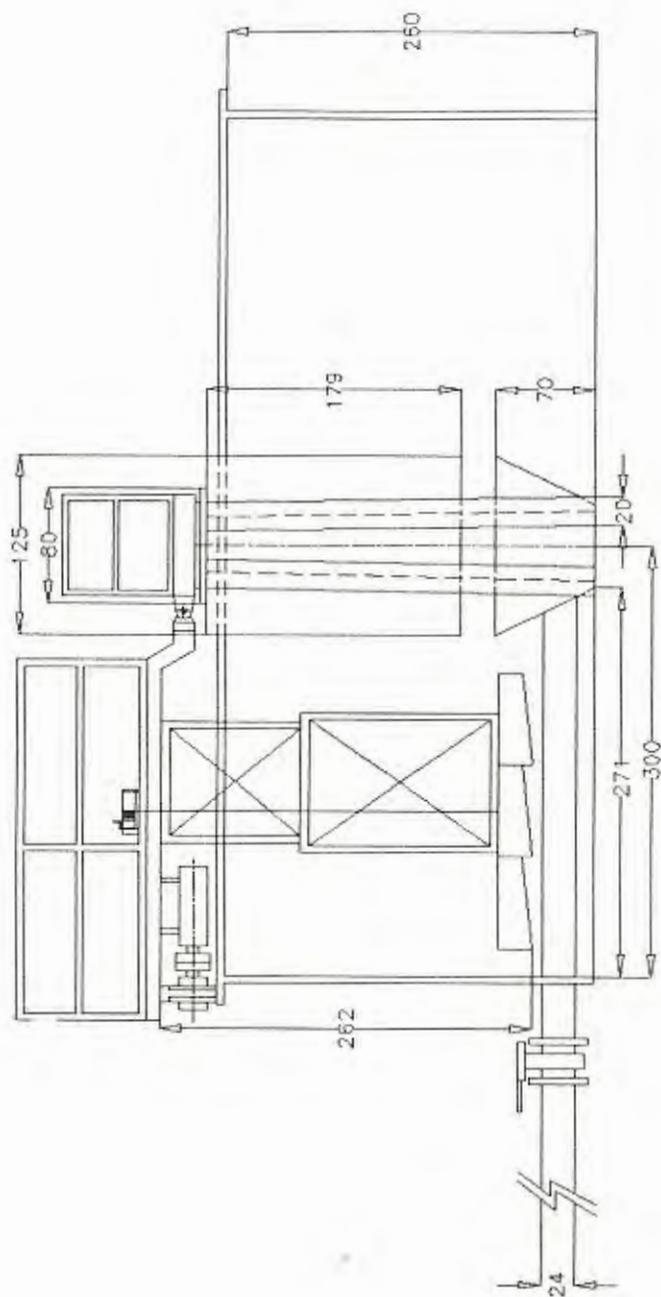


FIG 2.12. DECANTADOR VACÍO PARA MANTENIMIENTO



| FECHA | | NOMBRE | |
|---|------------|----------------|--|
| Diseño | 01/05/2012 | J. González | |
| Revisó | 10/05/2012 | Eng. Sebastian | |
| PLANO No. 1 | | | |
| ESCALA: | | MATERIALES: | |
| 1 : 100 | | | |
|  | | | |
| MASA (Kg) | | | |

FIMCP - ESPOL

MEDIDAS ACTUALES DEL DECANTADOR

2.4. Estudio y tratamiento del agua.

El agua es H_2O cuando es absolutamente pura, sin embargo, el agua pura no existe en la naturaleza. El agua de lluvia, puede ser agua más bien pura, pero al ponerse en contacto con el aire, el que con frecuencia está poluido, las gotas de agua de lluvia absorben oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y otros gases del aire, que hacen cambiar sus características iniciales.

El agua de lluvia al entrar en contacto con la superficie del suelo y permanecer sobre ella, la denominamos agua superficial, mientras cuando se infiltra a través del suelo forma las aguas subterráneas. El contacto con ciertas sustancias que de forma natural se encuentran en el suelo, así como la incorporación de impurezas provenientes de la industria y otras actividades que realiza el hombre, hace que la calidad de esta agua difiera muchísimo del agua pura.

De lo contrario, el agua a filtrarse a través de las capas de suelo deja las impurezas al servir estas como un filtro natural, lo que hace que el agua subterránea tenga una calidad natural superior al agua superficial.

que se conoce como movimiento Browniano. Este movimiento es causado por el bombardeo continuo de las partículas coloidales por las moléculas del agua. Es decir, el movimiento de las partículas es de esta manera el resultado directo del movimiento de las moléculas que la rodean.

Las partículas coloidales se cargan eléctricamente con el agua. Además, entre dos partículas coloidales existen fuerzas de atracción de Van del Waals y repulsión eléctrica.

Partículas suspendidas

Estas tienen un diámetro de más de $1\ \mu\text{m}$, pudiendo alcanzar dimensiones de $100\ \mu\text{m}$ dependiendo de las condiciones hidráulicas y se componen tanto de materiales orgánicos como inorgánicos. Como por ejemplos tenemos en la arcilla, partículas orgánicas como bacterias, algas, partículas resultantes de la descomposición de plantas, etc.

Estas partículas pueden removerse por sedimentación y filtración y en ocasiones se hace necesario adicionarles alguna sustancia química.

Las partículas son visibles en un microscopio normal.

Características y propiedades de calidad del agua.

Características físicas

Las principales características físicas son:

Color (gPt/m³)

Turbiedad (NTU, JTU, FTU, ppm sio 2)

Olor y sabor

Temperatura (c)

PH

Conductividad (μ S/cm o μ S/m)

El color puede ser verdadero o aparente. El color verdadero se debe a sustancias en solución, y el aparente a las que están en suspensión (turbiedad) y en solución. El color verdadero se debe principalmente a la presencia de materia orgánica de origen natural. Los ácidos húmicos (menos solubles en el agua) y los ácidos fúlvicos (más solubles) proporcionan color.

Cuando una agua contiene tal cantidad de materia en suspensión que parece fangosa o sucia se dice que está turbia. El material provoca la turbiedad incluye arcilla.

cuarzo, limo, materia orgánica, finalmente dividida y otras pequeñas partículas en suspensión.

El olor y sabor del agua son característicos que dependen de efectos subjetivos que se ejercen sobre los órganos sensitivos del olfato y del gusto. El olor es la impresión producida en el olfato por las materias presentes en el agua. El sabor es la sensación gustativa que producen materias presentes en el agua. La detección de un olor o sabor desagradable, generalmente indica la presencia de materias extrañas en suspensión.

La temperatura es un parámetro importante, ya que muchos procesos físicos, químicos y biológicos son dependientes de la temperatura, influyendo en su aceptabilidad por el consumidor.

El pH nos da una idea de la intensidad de la acidez o alcalinidad del agua y se define de la siguiente forma.

$$pH = - \log [H_3O^+]$$

La conductividad se relaciona con la concentración total de sustancias ionizadas a la temperatura a la cual se hace la medición y es una medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica.

Características químicas.

Las características químicas se dividen en inorgánicas, orgánicas y microbiológicas.

1. Sustancias químicas inorgánicas.

Cationes: Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , metales pesados como el As, Cd, Cr, Zn, Hg (mg/l).

Aniones: HCO_3^- , Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , H_2PO_4^- , Hs^+ (mg/l).

Gases: O_2 , CO_2 , H_2S , (mg/l)

Dureza total: $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{otros cationes bivalentes}]$

Dureza no carbonatada: Dureza total - Dureza carbonatada

CO_2 activo (agresividad con respecto al CaCO_3 mg/l)

2. Sustancias químicas orgánicas.

Consumo de $KMNO_4$

Dqo

DBO_5 a $20^\circ C$

Nitrógeno orgánico total y nitrógeno amoniacal

Grasa mineral

Compuestos tóxicos como pesticidas, detergentes, fenoles, etc.

Características microbiológicas.

Organismos indicadores (NMP coliformes totales y fecales)

Organismos patógenos (bacterias, virus, protozoos, etc.)

Otros organismos como los hongos y las algas

| Parámetro | Unidad | Valor |
|--------------|--------|------------|
| Sulfato | mg/l | 400 |
| Sabor y olor | - | inofensivo |
| Turbiedad | NTU | 5 |

2.5. Estudio de los fenómenos físico-químicos en la eliminación de la materia en suspensión.

La presencia en el agua de diversas sustancias sólidas constituye, la parte más importante y aparente de la contaminación. Debe eliminarse esta parte sólida para evitar gran número de inconvenientes, de los cuales los más importantes son: obstrucción de conducciones o de refrigerantes, abrasión de bombas, desgaste de materiales diversos, etc.

La separación de las partículas sólidas de agua puede deshacerse de acuerdo con dos principios diferentes:

Acción directa de la pesantez, por simple decantación en función del grosor y del peso específico de las partículas, o por flotación, fijando sobre las partículas burbujas de aire sistemáticamente introducidas en la suspensión. Puede acelerarse artificialmente el primer proceso, mediante la inversión de la fuerza centrífuga, por ejemplo en hidrociclones o centrifugadoras.

Filtración o tamizado, como su nombre lo indica, se hace pasar un líquido a través de un filtro, reteniendo los cuerpos sólidos a través de poros o resquicios.

No obstante, la aplicación pura y simple de estos principios tropieza con una dificultad debida a la gran dispersión del tamaño de las partículas. En el cuadro siguiente, se relacionan ciertos materiales u organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso.

| <i>Diámetro de la</i> | | <i>Tiempo de sedimentación</i> |
|-----------------------|------------|------------------------------------|
| <i>Partícula</i> | | <i>para 1m (orden de magnitud)</i> |
| 10 | Grava | 1 segundo |
| 1 | Arena | 10 segundos |
| 0,1 | Arena fina | 2 minutos |
| 0,01 | Arcilla | 2 horas |

Se deduce de estas cifras que la calidad del agua es una noción relativa y que, en función de las necesidades, debe precipitarse cuál es la contaminación residual que puede admitirse y, han de fijarse métodos de medida, relacionados con los dos criterios de calidad que normalmente se emplean: la concentración de materia en suspensión y la turbiedad del agua.

Suspensiones coloidales: su estabilidad en el agua

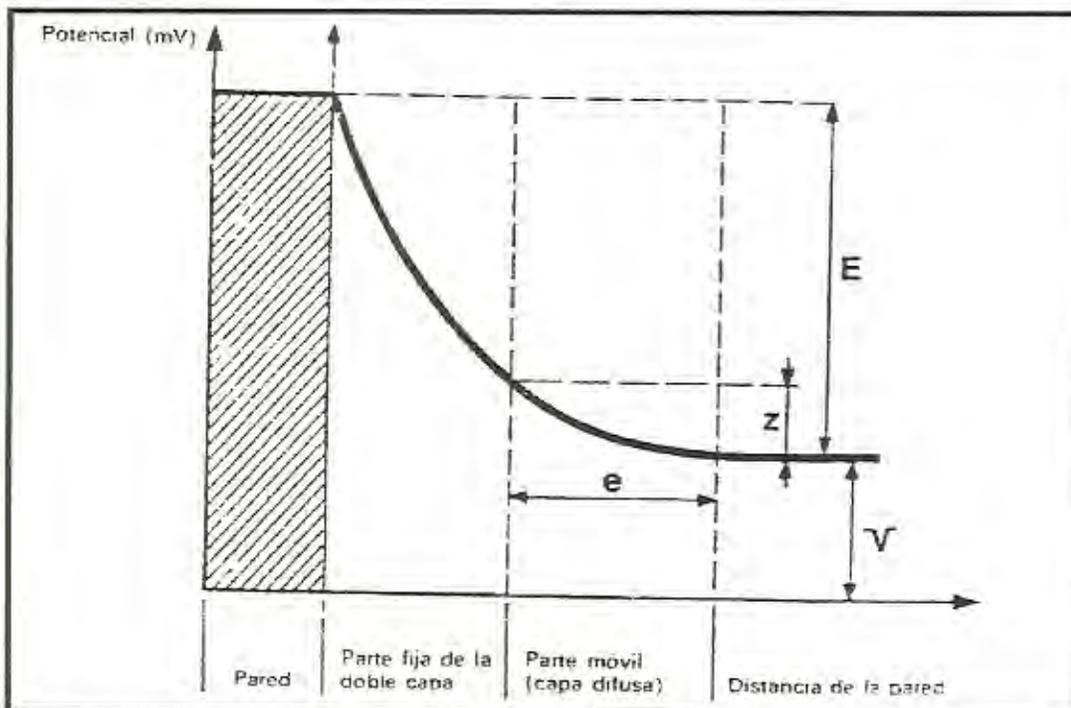
El cuadro anterior pone de manifiesto la escasa velocidad de decantación natural de las **partículas** finas, llamadas **coloidales**, que constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbiedad. Todo tratamiento impone un previo cambio de estado, que permita que las partículas se aglomeren y formen corpúsculos de mayor tamaño.

Este engrosamiento no se produce de forma natural, puesto que existen fuerzas cuya acción es específica de una suspensión coloidal, que la mantiene en estado disperso a lo largo del tiempo, con una notable estabilidad.

Esta **estabilidad** es el resultado de una solvatación o de una acción protectora debida a ciertos cuerpos absorbidos, así como

de la acción preponderante de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas.

En las aguas naturales, los coloides se encuentran siempre cargados negativamente. Lo mismo sucede, con frecuencia, en las aguas residuales. Como consecuencia de la solvatación, debe considerarse la partícula coloidal ionizada parcialmente en su superficie, pudiendo observarse, al microscopio, que se desplaza bajo la acción de un campo eléctrico.



**FIG 2.13. GRÁFICA DE UNA DOBLE CAPA IÓNICA EN LA INTERFAZ
SÓLIDO-LÍQUIDO**

La interpretación teórica de los efectos electrocinéticos, especialmente de la electroforesis, ha llevado a emitir la hipótesis de una doble capa iónica en la interfaz sólido-líquido, y, seguidamente, a atribuir una estructura definida a esta doble capa, como se muestra en la figura 2.13.

Una parte de la doble capa se adhiere a la pared, estando constituida la otra por una nube difusa de iones. V es el potencial del líquido con relación al electrodo de referencia.

Potencial Zeta

Se da el nombre de potencial Z (Zeta) a la diferencia de potencial entre la superficie que separa las partes fija y móvil, por una parte, y el seno del líquido, por otra.

Z es un potencial electrocinético, por oposición al potencial termodinámico E , calculable por la fórmula de Nernst, y que es igual a la diferencia de potencial entre la pared y el seno del líquido.

Z depende a la vez de E y del espesor de la doble capa. Su valor determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas, y, por tanto, su probabilidad de adhesión. Al aparato de medida correspondiente se le llama Zetámetro.

Cuando una partícula se encuentra sometida a un campo eléctrico, alcanza, casi instantáneamente, una velocidad tal que se establece un equilibrio entre la fuerza eléctrica de atracción y la fuerza de rozamiento debida a la viscosidad del medio. El cálculo lleva a la relación siguiente entre Z y la movilidad de la partícula:

$$Z = \frac{K \eta \mu}{D}$$

μ movilidad de la partícula en $\mu\text{s} / (\text{V}\cdot\text{cm})$

viscosidad dinámica en $\text{dPa}\cdot\text{s}$

D constante dieléctrica del medio

Z se expresa en mV.

El factor k es función de los valores relativos del diámetro de la partícula y del espesor de la doble capa iónica.

| | k | Fórmula |
|-----------------------------------|--------|--------------|
| Partícula relativamente gruesa | 4π | de Helmholtz |
| Pequeña partícula aprox. Esférica | 6π | de Huckel |



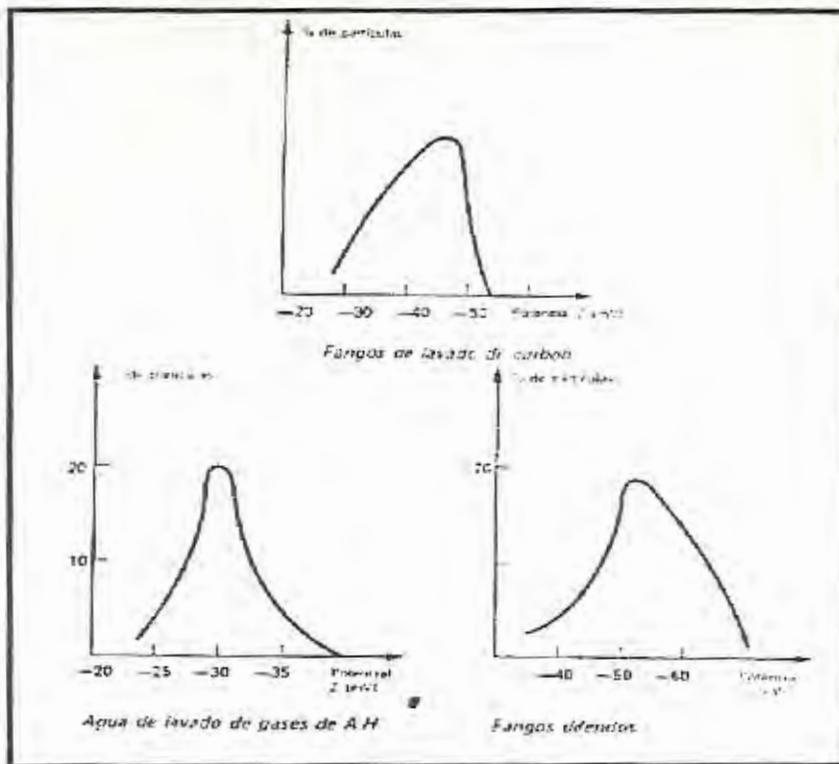


FIG 2.14. CURVAS DE POTENCIAL ZETA DE DIFERENTES COLOIDES

La relación muestra que todas las partículas cuyo potencial electrocinético sea idéntico, tendrán la misma movilidad, cualquiera que sea su radio.

Las curvas experimentales que se incluyen (Fig. 2.14), correspondientes a aguas y fangos, indican el porcentaje de las partículas que se desplazan en un campo de potencial variable. El máximo de la curva da el potencial Zeta de los coloides contenidos en las aguas o los fangos experimentados.

2.6. Desestabilización de una suspensión coloidal.

Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactorias, bajo la influencia de la pesantez, es necesario aglomerar los coloides para formar partículas de tamaño mucho mayor.

Por lo tanto, la suspensión debe transformarse por medio artificiales. Esta transformación es la resultante de dos acciones diferentes:

- una desestabilización, que se efectúa, por adición de reactivos químicos que, por medio de mecanismos de agregación o de adsorción, anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrófila de las partículas coloidales, una aglomeración de los coloides descargados, que resulta de diversas fuerzas de atracción entre partículas puestas en contacto, en primer lugar por movimiento Browniano, hasta la obtención de un grosor 0,1 micra aproximadamente, y después por agitación mecánica exterior, que conduce a un tamaño suficiente de los flóculos.

Los especialistas se reservan el término coagulación para denominar el fenómeno de desestabilización, y el de floculación para la aglomeración de los coloides descargados.

2.6.1. Estudio del fenómeno de coagulación.

En el fenómeno de coagulación ocurre una interacción química entre las impurezas y el coagulante añadido. El empleo sistemático de sales minerales de cationes polivalentes como coagulantes data de los últimos años del siglo pasado. En esta época, se establecieron sus leyes, que muestran que la acción coagulante es función de la valencia del ión que posee una carga opuesta a la de las partículas. La coagulación es tan mejor cuanto mayor es esta valencia (teoría de Schulze-Hardy).

Esta teoría explica, en parte, por qué las sales de hierro y de aluminio trivalentes han sido, y continúan siendo, las más utilizadas en todos los tratamientos de coagulación del agua.

Sin embargo, éstos coagulantes debido a la hidrólisis que experimentan, presentan el inconveniente de modificar las características físico-químicas del líquido separativo (pH-conductividad). En dosis fuertes, producen un exceso de fangos que, generalmente, constituyen un problema. Por

otra parte, estos agentes no dan siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación.

Por estas razones, se ha recomendado el empleo de floculantes: En primer lugar, productos de origen natural mineral (sílice activada), un orgánico (almidones, alginatos), y más tarde productos de síntesis (polímeros de masa molar elevada), denominada poli electrolitos.

Los coagulantes que se utilizan con más frecuencia son las sales de hierro o de aluminio y principalmente, por razones económicas, el sulfato de aluminio y el cloruro férrico. La acción coagulante de estas sales es el resultado de la hidrólisis que sigue a la disolución, sin llevarla a la formación del hidróxido $Al(OH)_3$. Los compuestos intermedios del aluminio, complejos hidróxido-aluminosos, no sólo aportan las cargas necesarias para la neutralización de los coloides, sino que, según ciertos autores, pueden polimerizarse, y crear puentes entre los coloides cebando el proceso de floculación.

La dosis de coagulante se determina realizando ensayos con el agua considerada. La curva que representa la evolución del potencial Z en función de la dosis de reactivo, puede tener características muy diferentes, según el agua examinada.

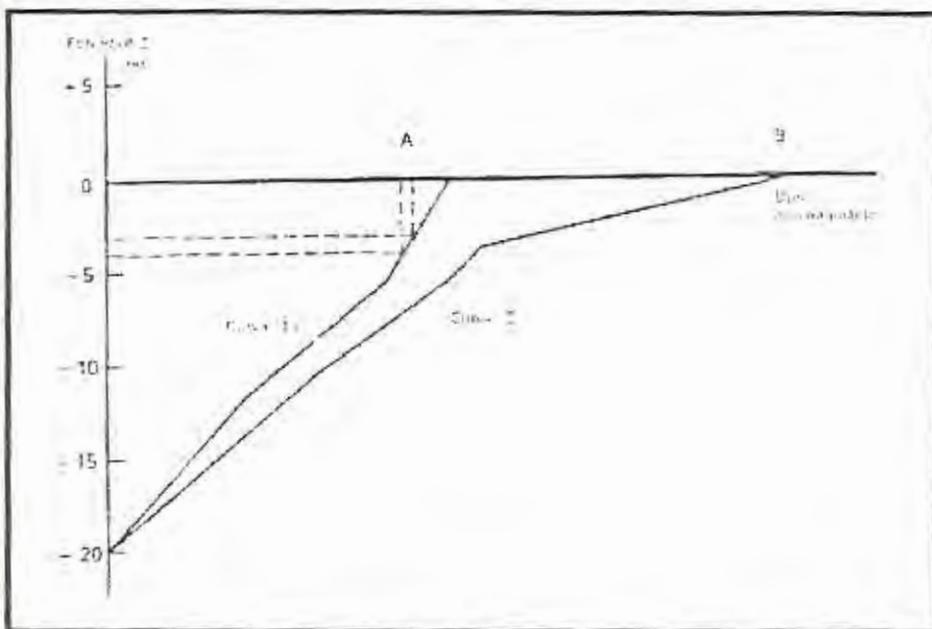


FIG 2.15. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DEL COAGULANTE POR EL MÉTODO DEL POTENCIAL Z

En el caso de una curva próxima a la curva (1), figura 2.15, para obtener un agua de buena calidad, basta adoptar una dosis A de reactivo, que permita alcanzar un potencial comprendido entre -3 y -5 mV, por el contrario, para una curva (2), es preciso adoptar la dosis B, que anula al potencial Z.

El pH desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación-floculación, es casi como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- queda destruida por un aumento de la concentración en iones H^+ , lo que disminuye la estabilidad de la suspensión coloidal.

Paralelamente, es preferible que el pH quede dentro de la zona correspondiente al mínimo de la solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Para las sales de aluminio, el mínimo de iones Al^{3+} permanece en solución a un pH comprendido entre 6 y 7.4, fuera de este margen, y según la mineralización del agua, existe el riesgo de volver a encontrar en solución una proporción más o menos fuerte de aluminio.

En ciertos casos, el agua a tratar contiene gran cantidad de materias ricas en compuestos aluminicos. Para las sales de hierro, la zona de pH es mucho más amplia. Se alcanza el mínimo de solubilidad cuando el pH es superior a 5.

2.6.2. Estudio del fenómeno de floculación.

Desde el punto de vista práctico la floculación es siempre necesaria como paso posterior a la coagulación ya que es el tratamiento que permite la aglomeración de las partículas coloidales desestabilizadas y su consecuente aumento de diámetro y densidad para ser posteriormente separados a las operaciones de sedimentación o filtración rápida.

La floculación se explica a través de dos mecanismos responsables en la aglomeración de partículas, estas son:

Floculación pericinéctica.

Floculación ortocinéctica

El primero de estos mecanismos establece que las partículas originalmente desestabilizadas manteniéndose en un cuerpo de agua en reposo, debido al movimiento Browniano tienden a aglomerarse de acuerdo a la ecuación:

$$-\frac{dN}{dt} = K_p \cdot N^2 \quad \text{Donde } N: \text{ Número de partículas por m}^3$$

t: tiempo de reposo (seg)

Sin embargo, si utilizáramos este mecanismo obtendríamos tiempos de retención de varios días e incluso meses, lo que sería antieconómico.

Por lo anterior el proceso de floculación en la práctica se estimula por el movimiento del fluido (floculación ortocinética), la cual se expresa por la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{2\alpha_0 G d^3 n^2}{3} \quad \text{donde}$$

- α_0 : Fracción de colisiones que resultan en agregación.
- G : Gradiente de velocidad media (s^{-1})
- d : diámetro de la partícula
- n : número inicial de partículas
- t : tiempos(seg)

En la práctica se logran obtener excelentes resultados para tiempos cortos (menores de 45 minutos) utilizándose la estimulación del fluido o agitación del mismo.

Los parámetros gobernantes en la floculación desde el punto de vista práctico son:

1.- Gradiente medio de velocidad

Se calcula de acuerdo a la ecuación de Camp y Stein:

$$G = \left(\frac{E}{\eta \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{donde:}$$

E: Entrada de energía en un volumen V por segundo para la agitación del agua (joule/seg = Watt)

η : Viscosidad absoluta del agua en Kg. m⁻¹ s⁻¹

V: Volumen en el cual la energía es disipada

En la práctica el valor de G se limita entre 10 – 100 s⁻¹ porque gradientes de velocidades altas pueden romper los flóculos, los cuales son débiles en estructura.

1. Número de Camp

$No. de Camp = G \cdot t$ donde: G : gradiente medio de velocidad (s⁻¹)

t : tiempo de retención (s)

No. de Camp = 2*10⁴ a 2*10⁵

2. Tiempo de retención (t)

20 - 45 minutos.



2.6.3. Estudio del fenómeno de sedimentación.

Una vez que el agua ha pasado por una o más criba, el paso siguiente en su preparación para las etapas finales del tratamiento es la sedimentación, usualmente mediante el auxilio de coagulantes. La sedimentación, con o sin productos químicos, raramente es un proceso de tratamiento completo; las excepciones principales son cuando aguas claras tierras arriba quedan retenidas en depósitos grandes durante largos períodos.

La sedimentación y coagulación son importantes ya que estos procesos preparan el agua para su filtración, y una preparación apropiada del agua es necesaria para asegurar un desempeño eficiente y sin problemas de los filtros. La mira tanto en el proyecto como en la operación de una planta de tratamiento, debe combinar los diferentes procesos de tratamientos para formar uno solo, efectivo y económico.

Mediante la sedimentación se remueve la materia suspendida de tamaño pequeño que las aberturas de los poros por precipitación sobre los lados de los granos de

arena, casi exactamente como sucede en cualquier tanque de sedimentación. En tal tanque, sin embargo, los depósitos pueden solamente formarse sobre el fondo, mientras ahora en un filtro está disponible el área de superficie combinada de todos los granos del filtro.

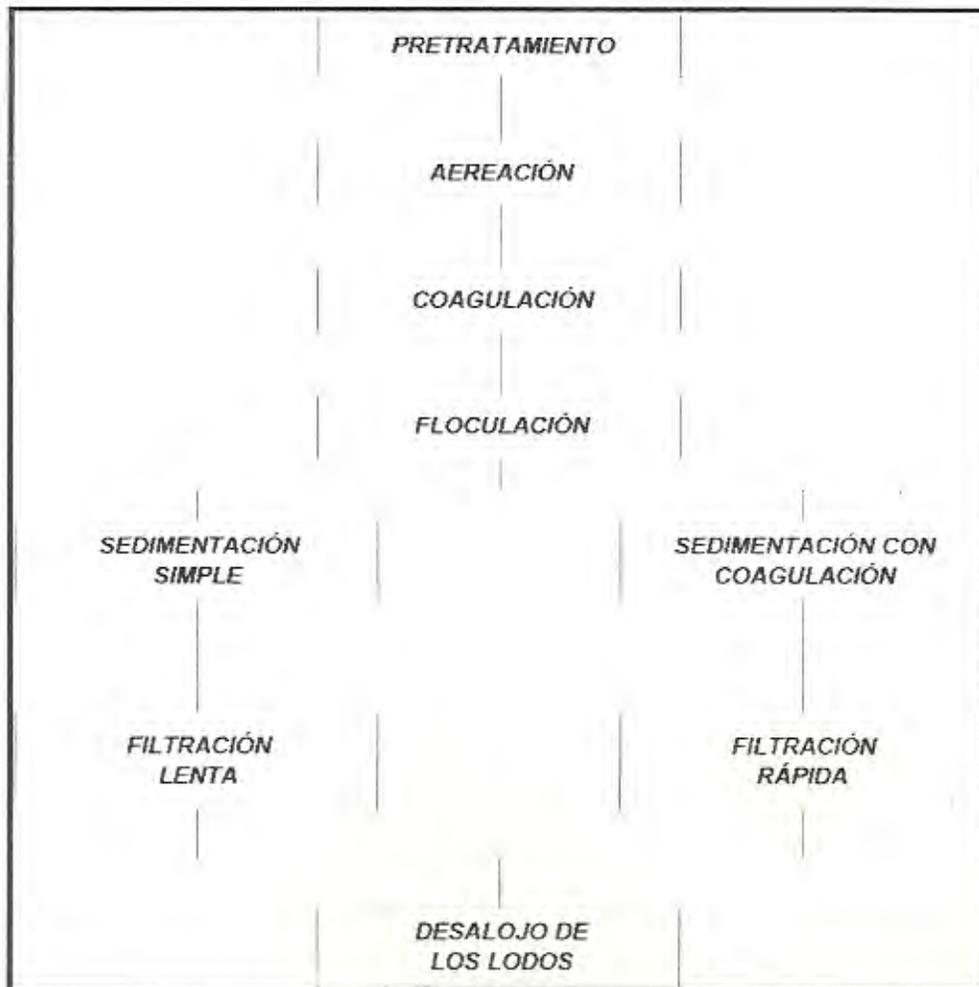


FIG 2.16. FLUJOGRAMA DE LOS TRATAMIENTOS QUE SE PRESENTAN HASTA OBTENER LOS LODOS SEDIMENTADOS

dependiendo la cantidad de su tamaño y velocidad del flujo de agua.

Sedimentación con coagulación

Para eliminar las partículas muy finas de materia suspendida en el agua, es común agregar al agua un producto químico, llamado coagulante.

Este forma un coágulo, atrayendo las partículas finamente divididas y la materia coloidal del agua para formar grupos de agregados que así se eliminan más fácilmente mediante sedimentación.

La facilidad que tenga la materia suspendida en el agua para sedimentarse depende, en gran parte, del tamaño y gravedad específica de las partículas, pero también está influida por la temperatura del agua. El agua, entre más fría, se encuentra, tiene más viscosidad, siendo mayor la fricción que deben vencer las partículas para sedimentarse. Aun en agua líbia, las partículas muy pequeñas se sedimentan tan lentamente que la clarificación por sedimentación únicamente, no es práctica.

Se han obtenido fórmulas matemáticas para la rapidez de la sedimentación de las partículas. En la práctica, estas fórmulas no son tan aplicables totalmente, debido a que muchas condiciones afectan la rapidez de sedimentación. Las reglas empíricas basadas en la experiencia, que son las empleadas generalmente en el diseño de los tanques, proporcionan buenas guías.

2.7. Evacuación y depósito de los lodos.

Antes de explicar los métodos de evacuar y depositar los lodos explicaremos brevemente sus características, cómo se originan, tipos de lodos, clasificación, tratamiento de los lodos, etc.

2.7.1. Estudio y características de los lodos.

El término lodo se utiliza para designar a los sólidos que se sedimentan cuando las aguas negras pasan a través del tanque de sedimentación. Debido a las diferentes etapas o métodos de tratamiento, se producen lodos que tienen características propias, que son: lodos crudos o primarios que son los producidos por los tanques de sedimentación primarios; lodos húmicos o secundarios producidos por los

tanques de sedimentación secundarios o finales; y los lodos activados que son el proceso de los lodos activados. Los lodos digeridos y los lodos deshidratados son otros términos comunes. Los lodos primarios son de olor desagradable y sujetos a una putrefacción rápida; los lodos secundarios y los activados son menos objetables, pero que se descomponen rápidamente. Tal como salen del tanque de sedimentación primario, los lodos crudos contienen alrededor del 5 % de sólidos, y el 95 % de agua. En nuestro caso se tomaron muestras y se determinó que el 30% es lodo y el 70 % es agua

En el tratamiento es deseable tener lodos con un contenido de sólidos relativamente elevado. De esta manera, se tiene menos agua que bombear y almacenar en las unidades de tratamiento de lodos, especialmente el digestor.

La operación de la planta para la producción de lodos con un contenido elevado de sólidos es de gran importancia. Esto se puede realizar en parte atendiendo la operación, como por ejemplo, extrayendo frecuentemente los lodos de

los tanques de sedimentación, es decir, concentrándolos antes de ser enviados al digestor.

El método común de disposición de lodos es la digestión en un tanque calentado, con la desecación subsecuente mediante aire sobre arena o lechos bituminosos, o mediante una filtración al vacío. Otros métodos incluyen la filtración al vacío sin digestión; lagunas de oxidación, que generalmente están precedidas de una digestión; secado en un horno seguido por incineración o su uso como fertilizantes; su descarga en el océano mediante barcos de construcción especial; descarga en el océano o en un río a través de una tubería; uso como fertilizante y para riego en áreas áridas; puede ser incinerado o depositado en un basurero.

2.7.2. Métodos para la deshidratación de los lodos.

Los lodos se pueden deshidratar mediante filtros de vacío, espesadores y prensas, deshidratadores instantáneos, incineración, o secado mediante aire. La selección del método depende de factores como el costo inicial, costo de operación, terreno disponible, proximidad de residencias,

clima, tamaño de la planta, carga de la planta, tipo de planta y topografía.

El terreno disponible puede limitar el uso de lagunas o del secado sobre lechos de arena, y la proximidad de residencias significa que las molestias se deben reducir a un mínimo. El clima puede favorecer o no el secado por aire; para una planta pequeña puede darse el caso que el secado por aire y aun la transportación de los lodos húmedos sea posible y quizá más económica. El tipo de lodos producidos (primarios o activados), influye en el método de disposición debido al contenido de humedad y al volumen resultante. La topografía puede ser tal que limite la localización de áreas de secado favorables o sujete a tales lechos a un posible daño por inundaciones.

2.7.3. Acondicionamiento y disposición de los lodos.

Se utiliza normalmente filtración con los lodos digeridos, pero en ocasiones es posible utilizarla con lodos sin digerir. La adición de un producto químico para coagular los sólidos y mejorar la habilidad de drenaje es práctica normal. Después de la digestión, la alcalinidad de los lodos es

nuevos coagulantes sintéticos, la rapidez de filtración por pie cuadrado se ha cuadruplicado en algunas plantas, en tanto que en otras ha sido difícil obtener resultados comparables con los obtenidos con cloruro férrico.

Los lodos crudos son filtrados fácilmente y requieren menos coagulantes que los lodos digeridos. Sin embargo, no se han desarrollado métodos aceptables para la disposición de dichos lodos.

La incineración de la torta de lodos, producida por la deshidratación es posible, pero algo muy costosa. La torta de lodos, si contiene no más del 80% de humedad, aproximadamente, aguantará una combustión en un horno diseñado apropiadamente.

La disposición mediante el acomodo en montones es otro método. Los granjeros, jardineros y viveros utilizan los lodos como fertilizantes. La torta de lodos se la puede secar en un secador rotatorio, y se puede utilizar como una base fertilizante o acondicionar el suelo.

CAPITULO 3

3. PROPUESTAS OPERATIVAS PARA LAS SECCIONES DE LA PLANTA LAVADORA DE ARENA

En este capítulo plantearemos los reajustes operativos para la planta lavadora de arena. Iniciaremos con el Separador de polvo, para que alimente a la planta con una materia prima con menos fino, basándonos en sus planos y normas de funcionamiento.

A continuación se hará lo mismo con el Decantador, aumentar su capacidad, mejorar el proceso de floculación, producido por el sistema de barrido mecánico, logrando que la mayor cantidad de lodo sea depositada en el fondo, consiguiendo el espesamiento de los mismos, para luego ser expulsados por una bomba de lodo hacia las piscinas de sedimentación, o transportarlos por medio de cisternas móviles y ser evacuados en otras lagunas.

Adicionalmente se desea recuperar la mayor cantidad de agua para que ésta vuelva a la cisterna y sea reciclada otra vez en el proceso de lavado. Otro de los objetivos es plantear soluciones para el desalojo de los lodos, ya que es un problema en sí para la fábrica, ocasionándoles muchas dificultades para su desalojo y evacuación de los mismos.

3.1. Propuestas operativas en el separador.

3.1.1. Estudio y análisis de las velocidades de las paletas del separador.

Analizaremos primeramente las velocidades tangenciales, angulares, fuerza centrífuga y compararemos los datos obtenidos con los del motor de 100 HP. Por medio de catálogos ANIVI (Anexo 1) y Clasificación de alta finura (Anexo 2), observaremos que el tamaño y la potencia coinciden con los datos de la tabla 2.4.

Procederemos a calcular los valores que nos interesan.

Tomando como referencia la figura (3.1), se obtiene lo siguiente:

$$\phi_1 = 856 \text{ cm}$$

$$\phi_2 = 250 \text{ cm}$$

$$\omega_2 = 1760 \text{ RPM}$$

$$\text{Potencia} = 75 \text{ HP}$$

Transformaremos las RPM a rad/seg, y luego calculamos sus velocidades tangenciales

$$\omega_2 = \frac{1760 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 184.306 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$V_2 = \omega \times R = 184.306 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \times .125 \text{ m} = 23.03834 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Debido a que sus velocidades en la periferia es la misma, entonces $V_1 = V_2$

Calcularemos el valor de la fuerza, despejando de la fórmula

$$P = F \times V.$$

$$F = \frac{P}{V} = \frac{P}{\omega_2 \times R_2} =$$

$$= \frac{75 \text{ HP}}{184,306 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \times 0.250 \text{ m}} \times \frac{745.7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} \times \frac{1 \text{ Joule}}{\text{seg} \times \text{W}} \times \frac{\text{New} \times \text{m}}{\text{Joule}} = 247.59 \text{ New.}$$

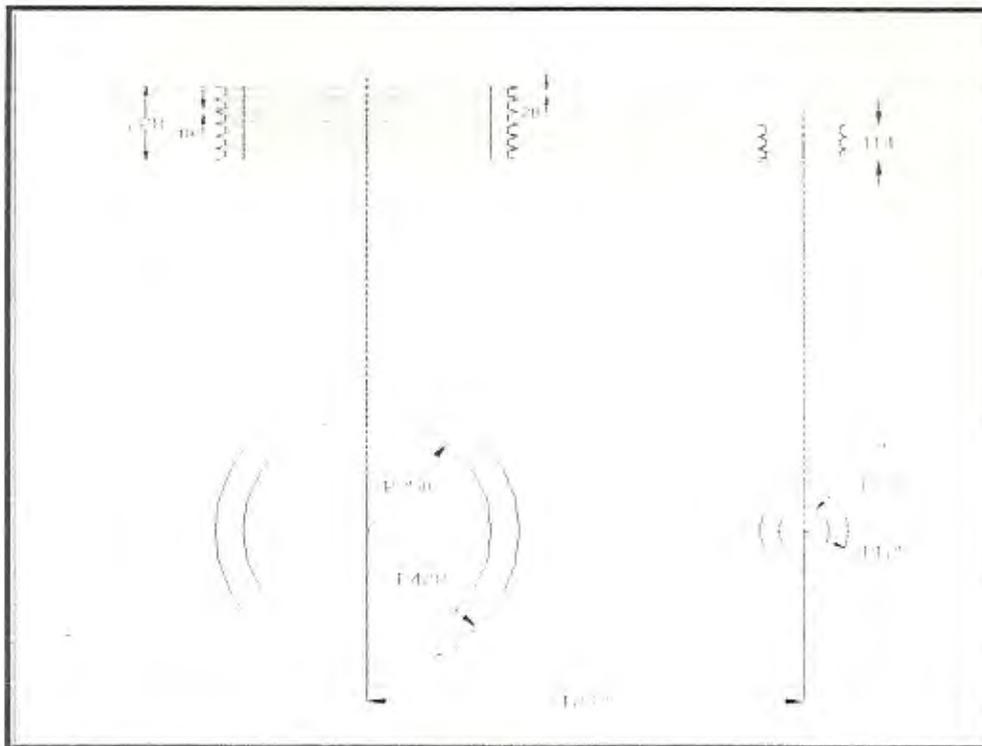


FIG 3.1. DIAGRAMA DE LAS POLEAS COLOCADAS ARRIBA DEL SEPARADOR

Estos valores fueron obtenidos con el motor de 75 HP, repitiendo el procedimiento con el motor de 100HP y manteniendo los valores de la figura (3.1), se obtiene lo siguiente:

TABLA 3.1. TABLA COMPARATIVA DE LOS VALORES OBTENIDOS

| Potencia | RPM | Veloc: (rad/seg) | Veloc: (m/seg) | Fuerza (N/cm) |
|----------|------|------------------|----------------|---------------|
| 75 HP | 1760 | 184.306 | 23.04 | 2427.59 |
| 100 HP | 1785 | 186.924 | 23.37 | 3191.45 |

Si observamos, las velocidades angulares y tangenciales se mantienen diferenciándose solo de sus RPM y su fuerza, sabiendo que dicha fuerza obliga a las partículas en movimiento circular a separarse del centro de rotación. Los resultados nos demuestran que el motor de 100 HP nos proporcionará una mayor fuerza que es lo que deseamos, por lo tanto generaría un mayor torque.

3.2. Estudio y análisis de las paletas principales y paletas de selección.

El número de paletas de selección montadas sobre el disco de distribución superior varía según la naturaleza de la materia y la granulometría del producto a obtener.

Para un trabajo fino se emplearía un gran número de paletas, retirando cierto número de éstas para trabajos más basto.

Cuando se cambia el número de paletas es necesario mantener el equilibrio del disco. Por ejemplo, en el caso de un disco de 60 paletas el número de ellas se reduce retirando una paleta cada 2,

con lo que quedarían 30 paletas; o bien retirar una cada 3, conservando entonces 40. De esta manera son posibles numerosas combinaciones que mantengan el perfecto equilibrio del disco. Lo mismo se debe hacer si se desea añadir.

El trabajo más fino se obtiene cuando cada paleta es ajustada hacia arriba, estando el disco en rotación, su borde superior roce, sin tocar, la tapa del tambor interior.

Cuando las paletas están en una posición exterior, el ventilador es mayor y más potente, con lo cual se obtiene un producto más fino.

Las paletas del ventilador principal pueden ajustarse hacia el interior o el exterior para obtener un ventilador de menor o mayor diámetro. Cuando las partículas están en una posición exterior, el ventilador es mayor y más potente, teniendo una gran capacidad de tiro, con lo cual se obtiene un producto más fino. Trasladando las paletas hacia el interior o reduciendo su número se alcanza un producto más fino, pero con una reducida capacidad de producción. **Recordemos que para obtener un gran margen de selectividad se debe variar la longitud de las paletas.** En este caso variaremos las longitudes de

los dos tipos, es decir las paletas principales en 10 cm y de las de selección en 8 cm. (Antiabrasiva de 3/16" de espesor)

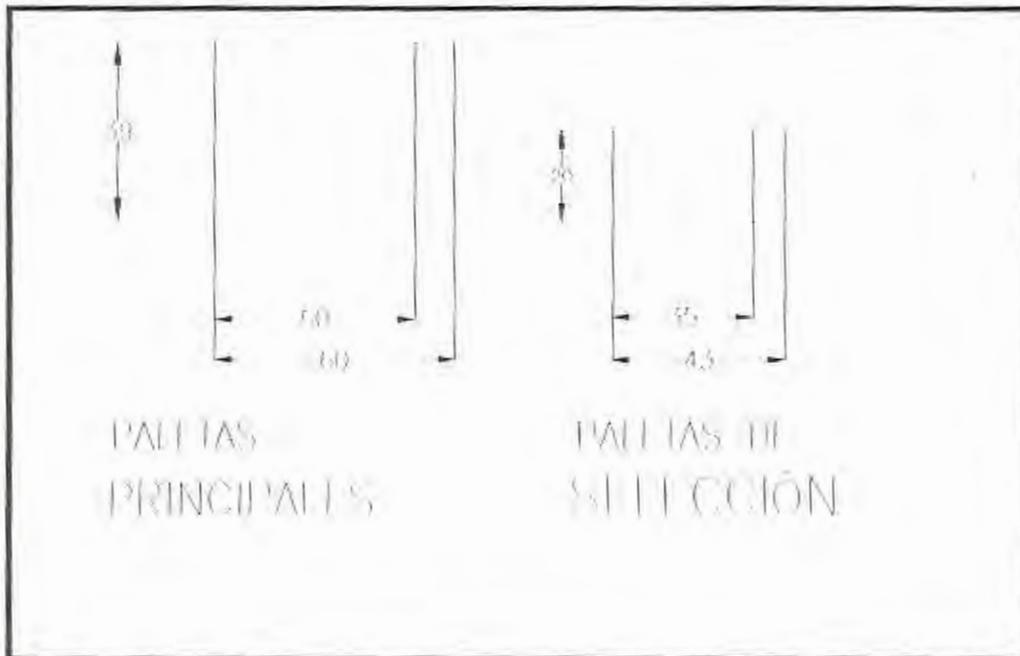


FIG 3.2. DIAGRAMA DE LAS PALETAS DEL SEPARADOR.

3.1.3. Condiciones óptimas de operación.

De los informes diarios de producción de la trituradora secundaria tomaremos los datos de toneladas (producción / 0hora) y dividiremos para las horas trabajadas. Como los datos que necesitamos son mensuales, sacaremos un valor promedio mensual y lo graficaremos en la Fig. 3.3.

Normalmente en un Separador, las partículas más finas son extraídas para su empleo o su almacenamiento, las más grandes son rechazadas y devueltas para una trituración posterior, nuestro objetivo es lo contrario, que las partículas más gruesas sean transportadas al silo y las finas sean rechazadas

Al observar los informes mensuales de las toneladas que salen del separador, se lo alimentó con una mayor producción, es decir, de 80TPH a 150 TPH aproximadamente y no ha presentado ningún problema en su funcionamiento después del cambio. Se aumentó su capacidad en más de un 50% y proporcionó una mayor estabilidad en su potencia. Para afirmar lo anterior, graficaremos en la Fig. 3.4. el número de toneladas total del material mensual que sale del separador de polvo, (sale la arena para asfalto más la arena que entra a lavarse).

Toneladas-promedio que ingresan al Separador de Polvo 98-99

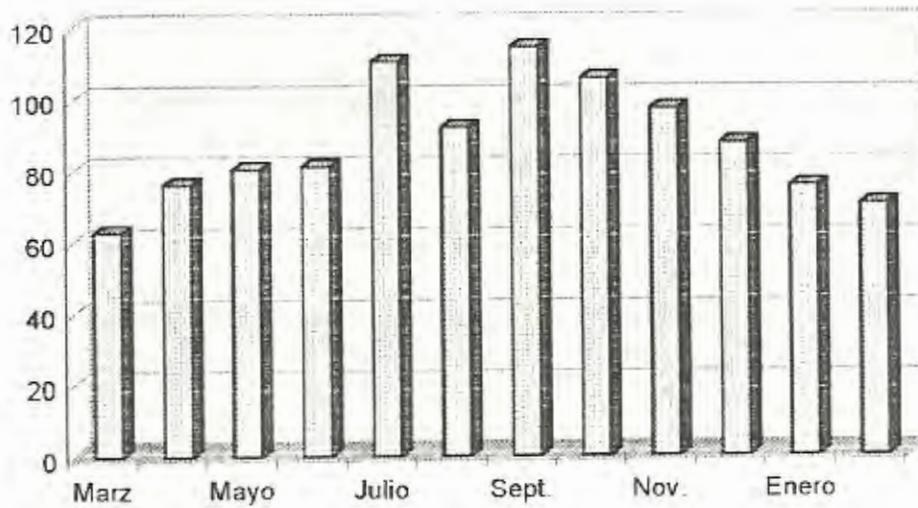


FIG 3.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL SEPARADOR DE POLVO

Toneladas de arena que sale del Separador de polvo 98-99

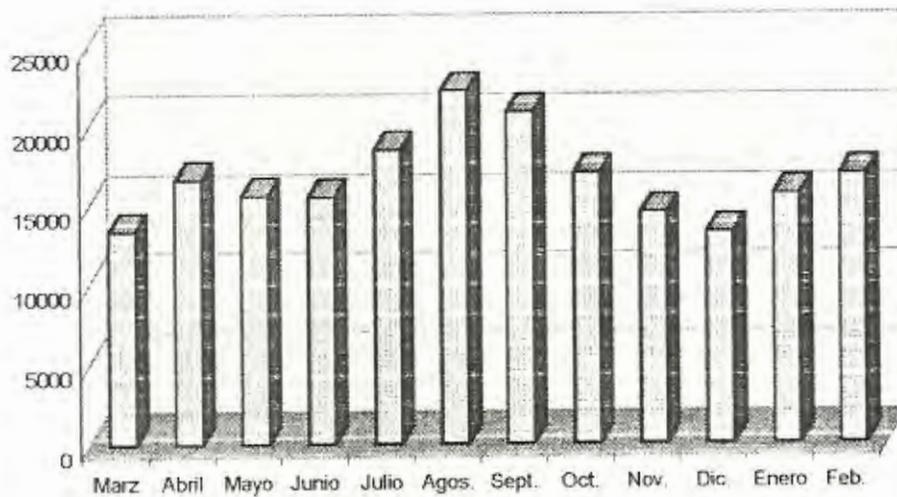


FIG 3.4 TONELADAS DE ARENA QUE SALE DEL SEPARADOR

3.2. Propuestas operativas para el decantador

Debido a que la arena es un producto de mucha demanda que no puede ser cubierta, para esto, es necesario aumentar la capacidad de la producción de la planta de arena. Poco a poco se han hecho cambios con la finalidad de optimizar la planta de arena para alcanzar los objetivos que se plantearon. A continuación detallaremos algunos reajustes operativos que ya se han realizado en la planta:

**TABLA 3.2. REAJUSTES OPERATIVOS REALIZADOS
EN LA PLANTA LAVADORA DE ARENA**

| DE AJUSTES OPERATIVOS | OBJETIVOS OPERATIVOS |
|--|---|
| 1. - Construcción y colocación de una caja metálica de doble recámara, para decantación de finos de retenidos en malla de 200. | Los pasantes 100 no eran retenidos e iban por medio de la bomba al decantador. Se quiere que este pasante 100 sea retenido y con el agua lavada vaya a la toya de arena fina y vuelva a ser recuperado como arena de producto final. Esta fue colocada en dirección del ciclón de arena fina. |
| 2. - Colocación de una nueva tubería de retorno. | Colocar una tubería de retorno del ciclón de arena fina al retorno de la tubería de lechada que vaya al tanque del decantador. |
| 3. - Llevar el tanque y el reactor central 40 cm. | Aumentar el volumen del decantador. |
| 4. - Se instaló un deflector en la parte superior del cono de | Evitar la aglomeración y acumulación de los lodos en el |

| extracción. | interior del cono. |
|--|---|
| 5. - Nivelar la tubería de 4" de extracción de lodo. | Facilitar el desalojo de los lodos hacia las lagunas, evitando así que se aglomeren en el interior de las tuberías. |
| 6. - Nivelar el ángulo del rascador móvil del fondo del decantador. | Mantener el nivel de altura de espesamiento de los lodos en el fondo del decantador. |
| 7. - Construir una compuerta desmontable, en la parte inferior del decantador. | Facilitar el desalojo de los lodos acumulados en el fondo, para mantenimiento del decantador. |

Sobre la base de los reajustes propuestos en la tabla anterior y realizados en la planta de arena, los objetivos planteados que se quiere conseguir con esto, son los siguientes:

Aumentar su producción en un 50%.

Disminuir el consumo de agua en la lechada de lodo.

Ahorro de energía eléctrica.

Los resultados de los informes de producción los analizaremos más adelante, indicando los aspectos positivos y negativos que se obtuvieron al realizarlos.

3.2.1. Estudio de las condiciones actuales del decantador.

Sobre la base de los datos y estudio de las condiciones del decantador, analizados en el capítulo anterior en el punto (2.3.2.5), partimos que es un decantador circular estático con barrido mecánico de lodos, que posee un sistema de barrido radial.

El sistema es accionado por una estructura giratoria, de arrastre periférico o central, que se compone de dos brazos suspendidos de una corona dentada central, accionada por un grupo motor reductor fijo. Está equipado con un floculador de agitación lenta, que se sitúa en el centro del aparato. El diámetro del tanque depende del volumen de vertido, del volumen necesario, y de la profundidad. Sobre la base de esta información en la tabla 3.2 detallamos las propiedades más importantes del decantador.



TABLA 3.3. TABLA DE DATOS ACTUALES DEL DECANTADOR

| CARACTERÍSTICAS DEL DECANTADOR | |
|--------------------------------|-----------|
| Marca: | MINOBRA |
| Potencia: | 90 kW |
| Capacidad: | 50 TPH |
| Diámetro: | 6 m |
| Altura: | 2.6 m |
| Volumen: | 75.852 m |
| Tiempo (1 Rev.) | 7 minutos |
| Velocidad | 0.143RPM |
| Angular (ω) | |

3.2.2. Reajustes propuestos para modificar el decantador.

Para hacer los reajustes operativos en el decantador, nos basaremos en puntos importantes que no afecten su funcionamiento, sino que mejoren su rendimiento. Los parámetros a mantener son los siguientes:

- Que el sistema de barrido se mantenga en el fondo del decantador, ya que se consigue el espesamiento de los mismos.
- El volumen a extraer sea pequeño y la pérdida de agua evacuada con los fangos sea mínima.
- Que no varíe la velocidad periférica de los brazos de barrido.
- El sistema de barrido se mantenga radialmente.
- La pendiente de solera en la que se efectúa el barrido de lodos se mantenga (pendiente de 1 pulgada vertical en 1 pie horizontal)
- Los lodos sean concentrados en la fosa central, y sean evacuados por un sistema automático de extracción (bomba de lodo).
- Mantener el nivel de altura de la puerta de desalojo con respecto al suelo, facilitando la evacuación de los mismos.
- En base a los puntos antes mencionados haremos los reajustes operativos en el decantador:

1.- Elevar el tanque a una altura periférica de 3m.

Si elevamos el tanque a una altura de 3m, el volumen del mismo aumentará, aplicando la fórmula de la ecuación para los decantadores (Capítulo 2 Punto 2.3.2.4.) obtendremos.

$$V = d^2(0.011d + 0.785h)$$

$$V = 6^2(0.011 \times (6) + 0.785 \times (3))$$

$$V = 87,156m^3$$

2.- Colocación de la pendiente en el fondo del decantador.

El decantador actualmente no tiene pendiente, debido a esto los lodos se acumulan y se decantan, formándose una capa gruesa lodo, que obliga a hacer un mantenimiento cada tres meses y tomó dos días aproximadamente para realizarlo. Al colocar la pendiente de solera, permitirá alcanzar velocidades más elevadas que en la decantación acelerada tradicional por contacto de fangos, permitiendo que los lodos se concentren en la fosa central, y sean evacuados fácilmente por un sistema automático de extracción y

depositados en las piscinas de sedimentación o en las cisternas móviles.

Ahora calcularemos el ángulo de la pendiente, conociendo que la relación de la pendiente de solera es de 1 pulgada vertical en 1 pie horizontal.

Por lo tanto:

$$\operatorname{tag} \theta = \frac{1}{12}$$

$$\theta = \operatorname{tag}^{-1} \left(\frac{1}{12} \right)$$

$$\theta = 4.76364^\circ$$

Manteniendo el ángulo como referencia, en nuestro caso la altura de la pendiente será:

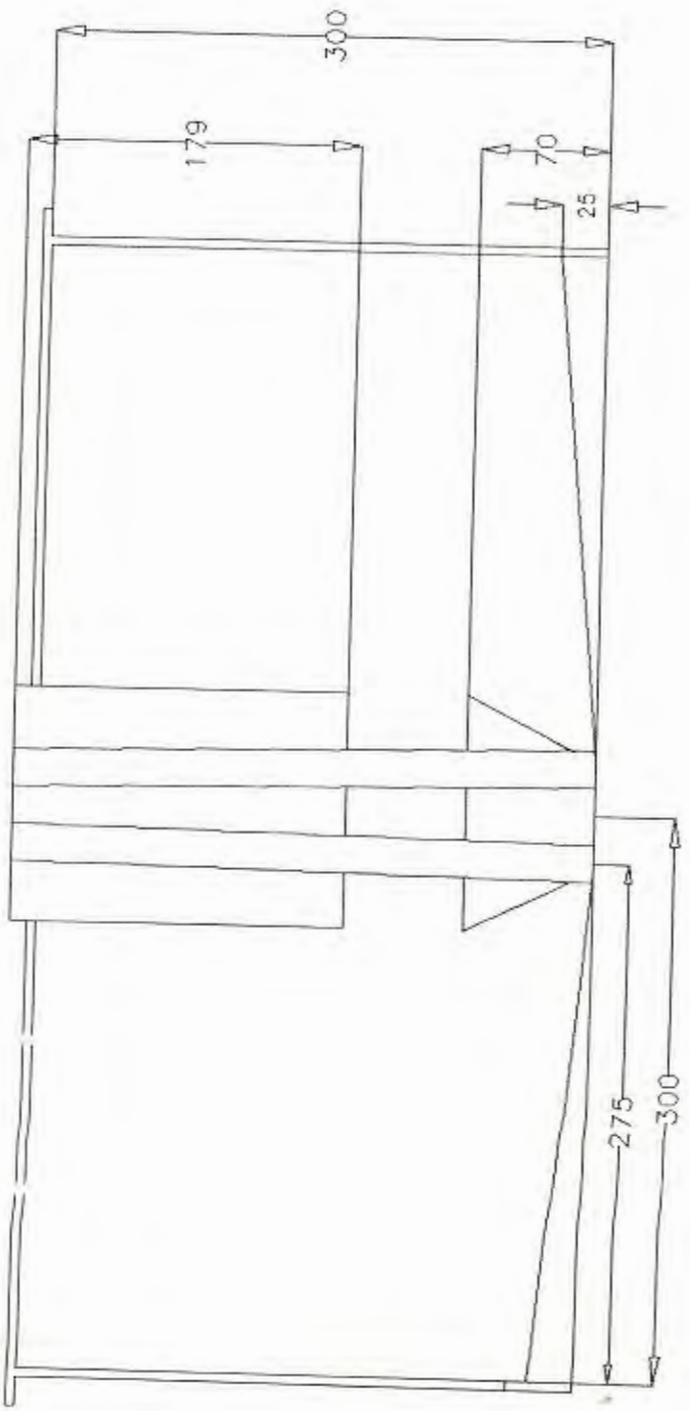
h = altura periférica del decantador.

x = altura de la pendiente de solera.

$$\theta = 4.76364^\circ$$

$$\operatorname{tag} \theta = \frac{x}{h} = \frac{x}{3}$$

$$x = \operatorname{tag} 4.76364^\circ \times 3 \quad x = 0.25m$$



| | | | |
|---|----------|---------------|--------|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA | NOMBRE |
| 01/09/02 | 01/09/02 | J. González | |
| 01/18/02 | 01/18/02 | Ing. Beltrame | |
| COLOCACION DE LA PENDIENTE SOLERA | | PLANO No | 2 |
| ESCALA: | 1:100 | MATERIALES: | |
|  | | | |
| MASA (Kg) | | | |

3.- Construcción y colocación de un nuevo visor.

La instalación de un nuevo visor tiene como propósito el observar el proceso de floculación y prevenir que se forme una turbulencia excesiva del agua floculada, que pasa a través de amplias aberturas sin vertedero a la zona periférica de decantación, en la que se depositan las partículas floculadas y las materias en suspensión. La longitud del visor es de 1,5 metros, desde la parte superior

Optaríamos por colocar un nuevo visor en la parte inferior de longitud de 1 metro, con la finalidad de observar el nivel de lodo que se encuentra en el fondo del decantador, para poder planificar debidamente el mantenimiento y desalojo de los mismos, ya que normalmente se lo realiza cada tres meses, o dependiendo de la cantidad de material que ingresa a la planta a lavarse.

4.- Velocidad de desplazamiento de las rasquetas.

En los informes técnicos de los decantadores circulares de barrido rotatorio, la velocidad de desplazamiento de las

rasquetas destinadas a reunir los fangos en la fosa de evacuación está de (2 a 6 cm / s). Si se demora 7 minutos en dar una vuelta, aplicando las fórmulas respectivas obtendremos:

$$\omega = \frac{1 \text{ rev}}{7 \text{ min}} = 0,1428 \text{ RPM}$$

Si r : radio del decantador es 3m, la velocidad tangencial es:

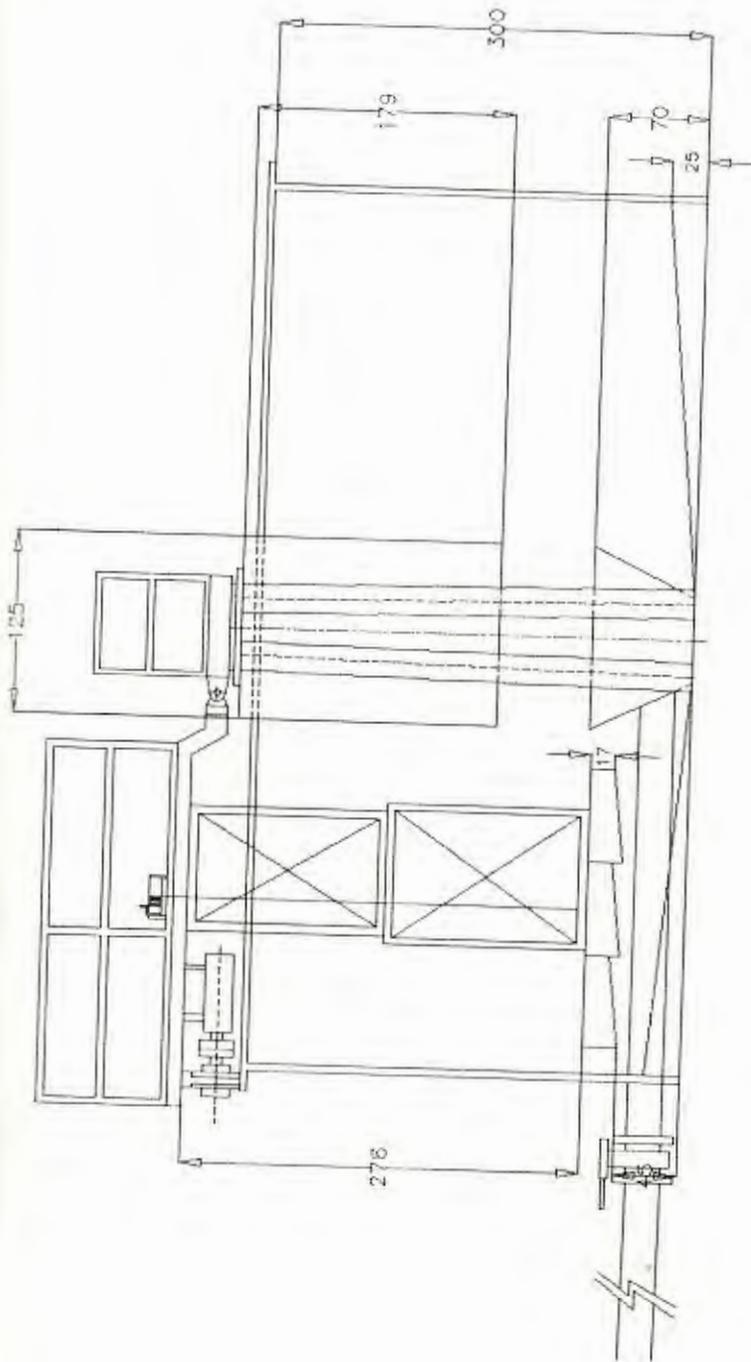
$$V_t = r \times \omega = 300 \text{ cm} \times 0,1428 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$V_t = 4,487 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

Si aumentamos la capacidad del decantador, el sistema de barrido va a girar un poco más lento, estimando que se demore 9 minutos en dar una vuelta, obtendríamos una velocidad de:

$$V_t = r \times \omega = 300 \text{ m} \times \frac{1 \text{ rev}}{9 \text{ min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 3,490 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

La velocidad obtenida se encuentra dentro del rango de velocidades establecido.



| | | |
|-----------|----------|----------|
| FECHA | | NOMBRE |
| Dibujó | 01/08/02 | |
| Revisó | | 01/18/02 |
| PUNO No. | | 3 |
| MASA (Kg) | | |

| | |
|--|--|
| FIMCP - ESPOL | |
| DECANTADOR CON REAJUSTES OPERATIVOS | |
| ESCALA: | |
| 1:100 | |
| MATERIALES | |

5.- Variación de la altura del sistema de barrido del decantador.

Como estamos variando la altura periférica del decantador, debemos variar la altura del sistema de barrido. La pendiente debe estar colocada a 0,25 metros del nivel del suelo, y el sistema de barrido debe colocarse a una altura, tal que no origine una fuerza de fricción mayor con la superficie de la pendiente de la solera, se estima que sería unos 20 cm de separación. En conclusión variaremos todas las medidas con 40 cm de altura.

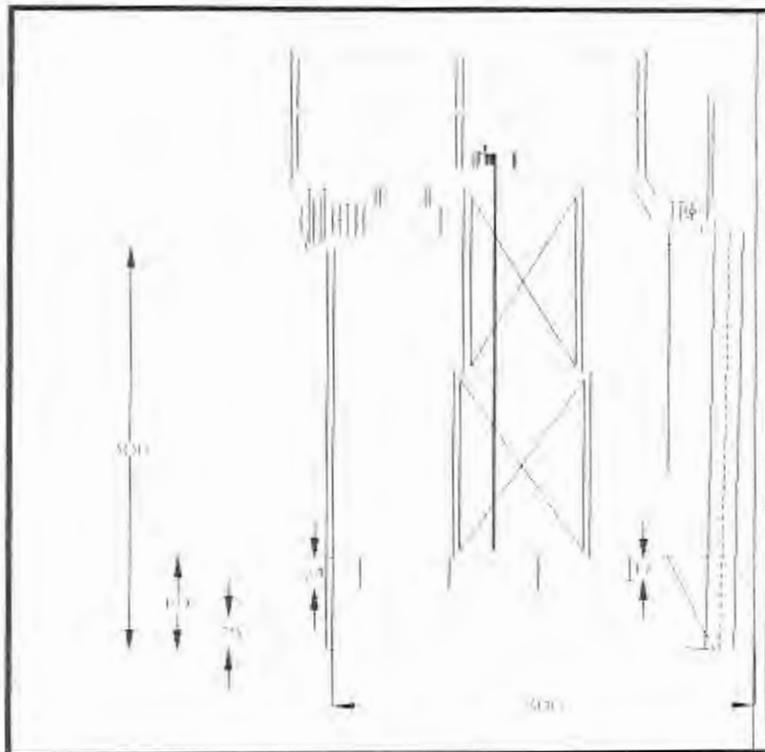


FIG 3.5 VARIACION DE LA ALTURA DEL SISTEMA DE BARRIDO

3.2.3. Beneficios y condiciones óptimas de operación.

Los reajustes para la planta lavadora de arena han sido propuestos y planteados, pero no realizados, pero mencionaríamos algunos beneficios que se conseguirían si se los realizara:

1. Aumento del volumen del decantador, aplicando su fórmula respectiva de 75,852 a 87,156 m³
2. Al colocar la pendiente de solera, los lodos serán fácilmente succionados para ser depositados en las cisternas móviles.
3. Evitar que los lodos se acumulen excesivamente en el fondo del decantador, especialmente en cono de la fosa central.
4. Facilitar el desalojo de los lodos, por medio de la tubería que sale de la parte inferior del decantador.
5. La velocidad de desplazamiento del sistema de barrido, se encuentra dentro del intervalo determinado.

Como no se realizaron los reajustes operativos, los informes de condiciones de operación serán estimados o aproximados en base a las optimizaciones que se hicieron

Cuando los lodos se van a secar por aire, en general, se esparcen sobre lechos de arena que tienen drenaje inferior. Estos drenajes deben tener una descarga libre, y el líquido generalmente regresa a la entrada de la planta, ya sea en forma directa o por bombeo.

Los lechos más grandes siguen el mismo plan general. Los lodos bien digeridos se secan hasta un contenido de humedad del 70% aproximadamente en lechos que tienen un mantenimiento apropiado. Por lo general, los lodos se esparcen con una profundidad de 8 a 12 pulg., sobre el lecho, pero la experiencia obtenida en la planta es la mejor experiencia. El tiempo de secado depende de las condiciones climatológicas y puede variar entre 10 días y varias semanas. La adición de un coagulante, que usualmente es cloruro férrico o sulfato de aluminio, con aplicaciones del 2 al 6% en peso de sólidos secos, hace que la desecación sea más rápida.

Para incrementar la velocidad de secado y reducir la interferencia del clima, los lechos para el secado de los lodos pueden estar cubiertos con estructuras similares a las utilizadas para los viveros. La estructura puede ser de hierro o aluminio, y los muros, y el techo de vidrio o plástico. Los lechos cubiertos tienden a reducir la emisión

de olores que existen cuando sea necesario retirar los lodos digeridos parcialmente.

3.3.1. Lagunas de sedimentación.

Los lodos pueden almacenarse en lagunas mientras que el contenido de humedad se reduce por evaporación y, en algunas ocasiones, por infiltración. La reducción del volumen es lenta, especialmente en tiempo frío y lluvioso. Después de un periodo de almacenamiento, los lodos parcialmente secos pueden retirarse con una pala o una draga. No se tiene un criterio exacto para la capacidad requerida de una laguna.

Las condiciones locales del clima y del suelo pueden determinar la rapidez de concentración. Un riesgo de la operación de una laguna es la posibilidad de extraer de ella lodos sin digerir o digeridos parcialmente, creando así una gran cantidad de moscas y quizá malos olores especialmente si se tratara de una planta de tratamiento de aguas negras.

Ventajosamente los lodos obtenidos son de una planta de áridos y son transportados por cisternas móviles y depositados en otro lugar.

3.3.2. Descarga de los lodos en cisternas móviles.

Diariamente se lava la arena, los lodos debido al proceso son llevados a las piscinas de sedimentación. Para evacuarlos se utilizan palas mecánicas, retroexcavadoras y volquetas para extraer los lodos concentrados en el fondo de cada piscina para facilitar su respectivo mantenimiento, regularmente se lo hacía cada 3 o 4 meses generando un costo para la empresa.

Actualmente , los lodos se los almacena en una cisterna móvil(camión con un tanque de almacenamiento con capacidad de 1000 m³). Cuando la cisterna móvil se encuentra llena, se lo transportan a un lugar interno determinado por la empresa y se lo vacía apropiadamente para que no afecte al medio ambiente.

3.3.3. Equipos Filtro-Prensa para lodos (Compactadores).

Describir en sí el funcionamiento del compactador de lodos es muy difícil, pero podemos explicar el objetivo principal y la importancia que brindaría a la empresa al disponer de una de estas maquinarias.

Se conoce que los lodos se pueden deshidratar mediante filtros de vacío, espesadores y prensas, deshidratadores instantáneos, incineración, o secado mediante aire. La selección del método depende de factores como el costo inicial, costo de operación, tamaño de la planta, número de operadores, etc., lo que indica que además del costo del equipo implica gastos de operación, todo lo cual considera un análisis económico respecto a esta inversión. A continuación mencionaremos el funcionamiento de algunos equipos.

FILTROS PRENSA.

Los filtros prensa son equipos destinados a la deshidratación de los lodos, procedentes del lavado de áridos. Constan de un paquete filtrante con placas y telas de polipropileno,

soportando en un bastidor compuesto de dos cabezales y dos travesaños en acero.

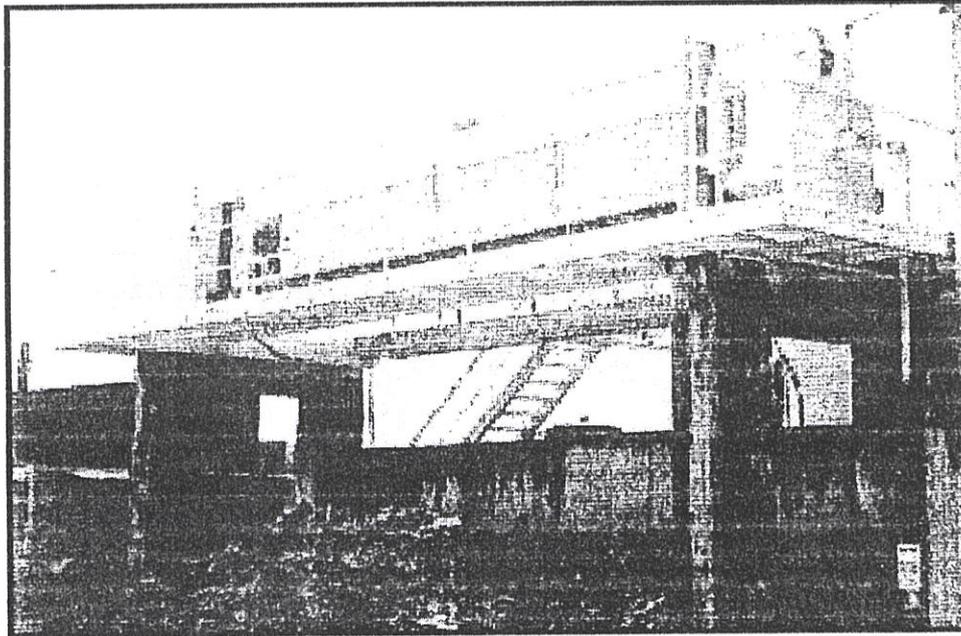


FIG 3.6 FILTRO PRENSA

El paquete filtrante se abre y cierra mediante un dispositivo electro hidráulico. En filtros con desplazamiento individual de placas éste se realiza con un dispositivo electro-mecánico.

Los filtros se alimentan mediante una bomba de caudal y presión variable. El funcionamiento de la instalación de filtrado está totalmente automatizado a fin de acortar al máximo el ciclo de filtrado.

Según las necesidades, el filtro prensa puede alimentarse directamente desde un clarificador/ espesador de lodos (decantador), o bien desde un tanque de almacenamiento intermedio, que confiere al sistema una mayor independencia.

El filtro se instala normalmente elevado sobre unos pedestales de hormigón de manera que las "tortas" de lodos caen directamente al suelo donde se almacenan. Eventualmente las tortas pueden ser recogidas por una cinta transportadora, instalándose en este caso el filtro a baja altura.

Los lodos previamente decantados en un tanque clarificador / espesador y con una concentración del 40-50% de sólidos se bombean al Filtro Prensa mediante una bomba que va aumentando progresivamente la presión de alimentación hasta conseguir la presión de filtración requerida, entre 700 y 1000kPa.

El ciclo de filtrado da comienzo con el paquete filtrante cerrado y alimentando el lodo mediante la bomba. El sólido

queda retenido en las cámaras mientras que el agua se filtra a través de las telas, situadas en el interior de las cámaras formadas entre cada dos placas. Cuando el volumen de filtrados es mínimo se considera finalizado el proceso de filtración y empieza la apertura del filtro, produciéndose la descarga de las tortas. Una vez concluida la descarga, se cierra el filtro y comienza un nuevo ciclo de filtrado.

PRENSA FILTRO DE BANDAS.

La compañía Phoenix (PHOENIX PROCESS EQUIPMENT CO.) Y (SOTRES) ofrecen una completa línea de equipos de prensa para las aplicaciones y procesos requeridos para la depuración del agua y la extracción de los lodos. No requieren de muchos químicos para recuperar los finos y limpiarlos y los costos son reducidos. El costo del equipo es alto, pero es una de las más eficientes en el mercado.

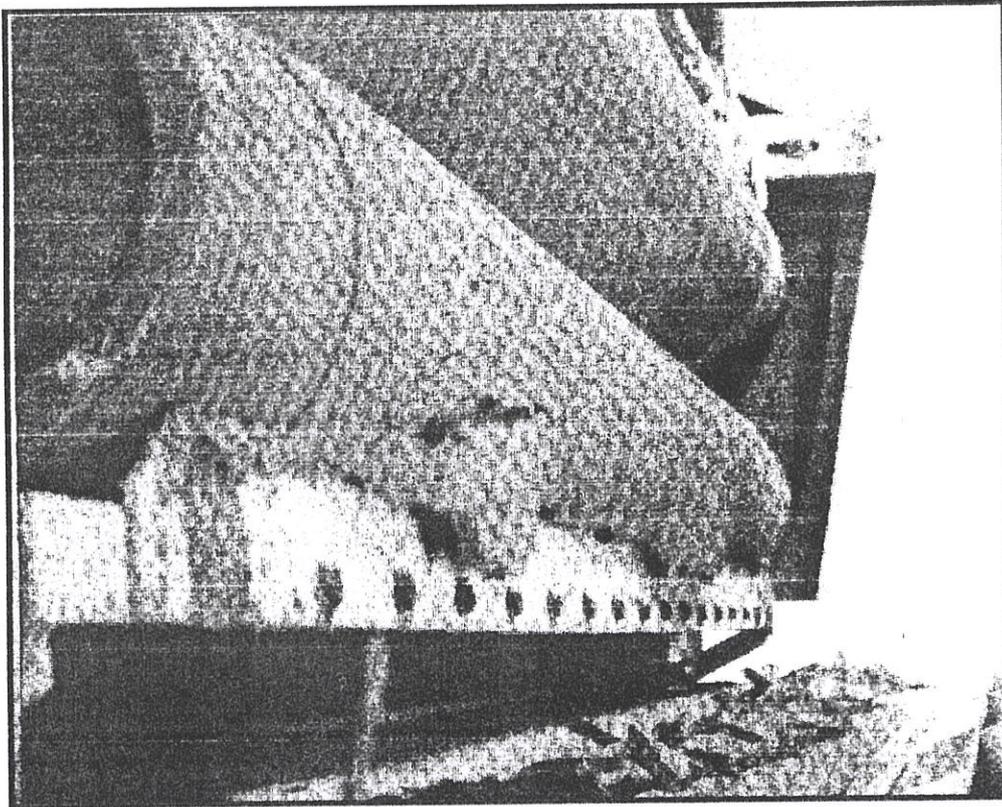


FIG 3.7 (CLAY SLURRY BELT PRESS-SOTRES)

En la figura 3.10, se indica un esquema de una máquina SOTRES (CLAY SLURRY BELT PRESS-SOTRES), indicando las secciones o zonas más importantes.

La compañía PHOENIX, ha diseñado su propio flujo grama figura 3.8, indicando el proceso de lavado de arena y la figura 3.9, se indica un esquema de una máquina PHOENIX indicando el proceso a seguir desde su alimentación (lodo) a la filtro-prensa hasta su salida en forma de sólidos.

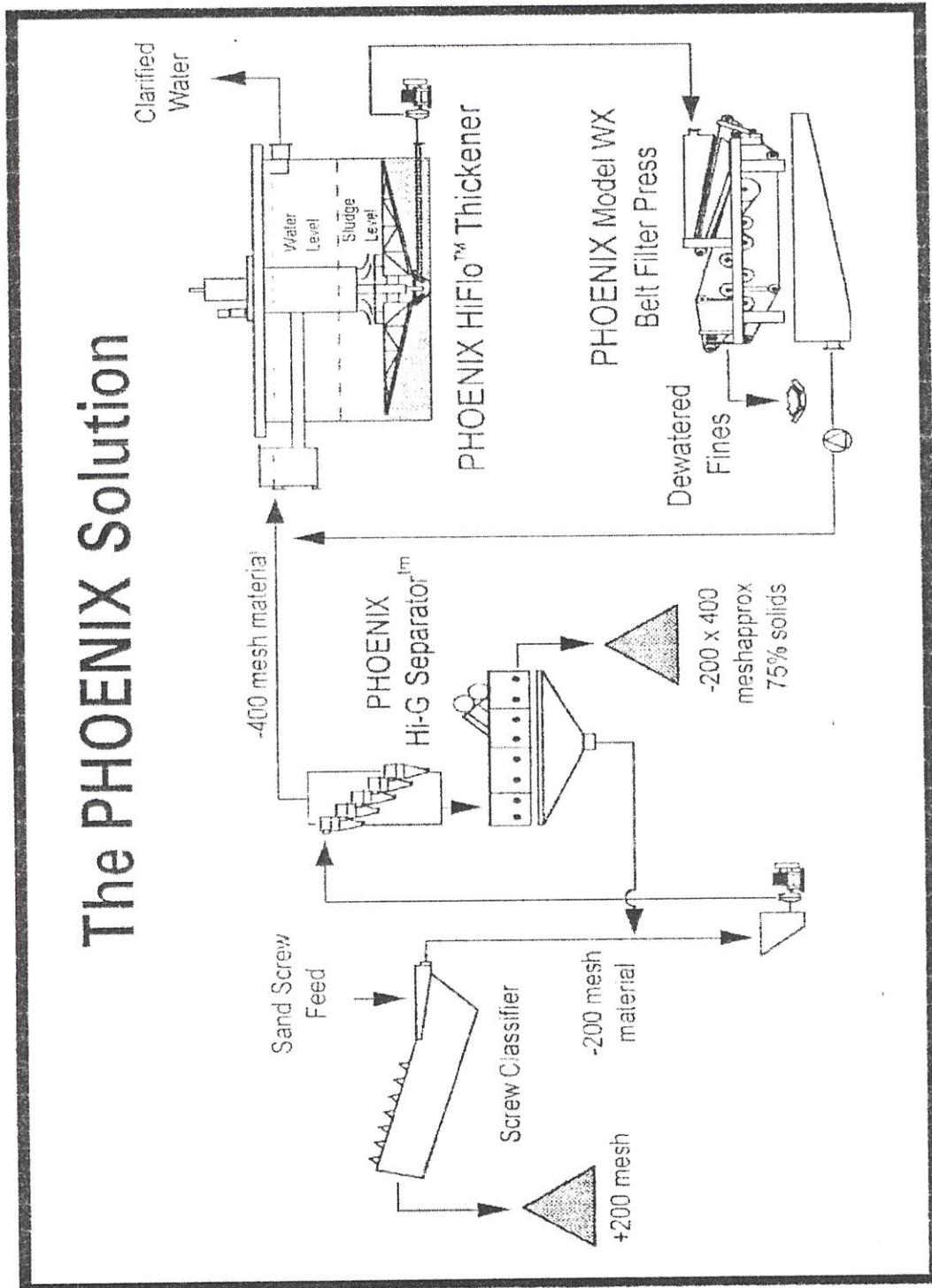


FIG 3.8 DIAGRAMA (Phoenix) PROCESO DE LAVADO DE ARENA

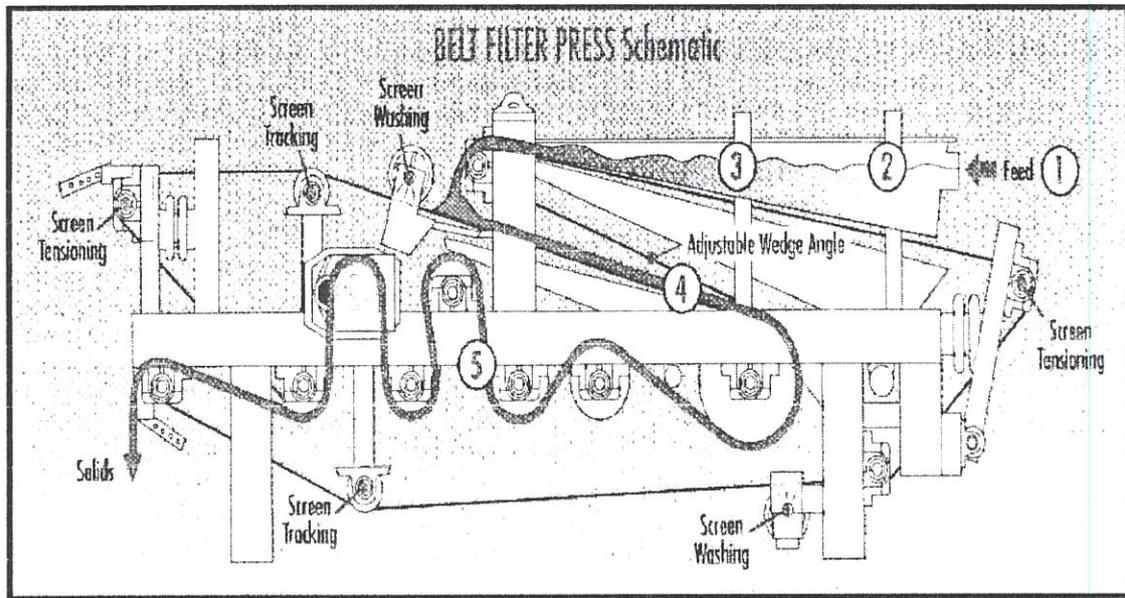


FIG 3.9 ESQUEMA DE UN FILTER PRESS PHOENIX

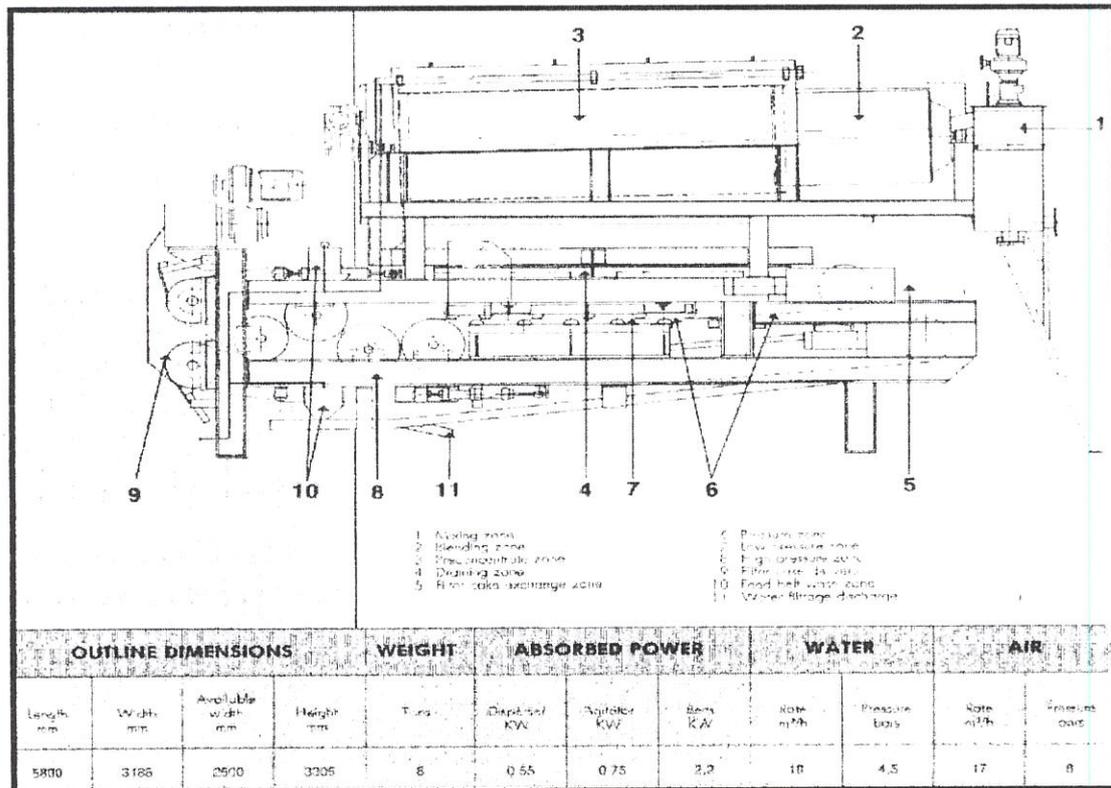


FIG 3.10 ESQUEMA CLAY SLURRY BELT PRESS-SOTRES

CAPITULO 4

4. RESULTADOS OPERATIVOS.

4.1. Separador de polvo.

En el separador de polvo el grado de selección se determina por la cantidad y dimensiones de las aberturas de las cuales pasa el material, y para obtener un gran margen de selectividad se hace variar la velocidad, la dimensión de las aberturas y la longitud de las aletas de selección, reajustes propuestos y realizados al separador. Sobre la base de esto, mostraremos los reportes de producción mensual, que nos informa los resultados que se consiguieron, lográndose así los objetivos que se propusieron.

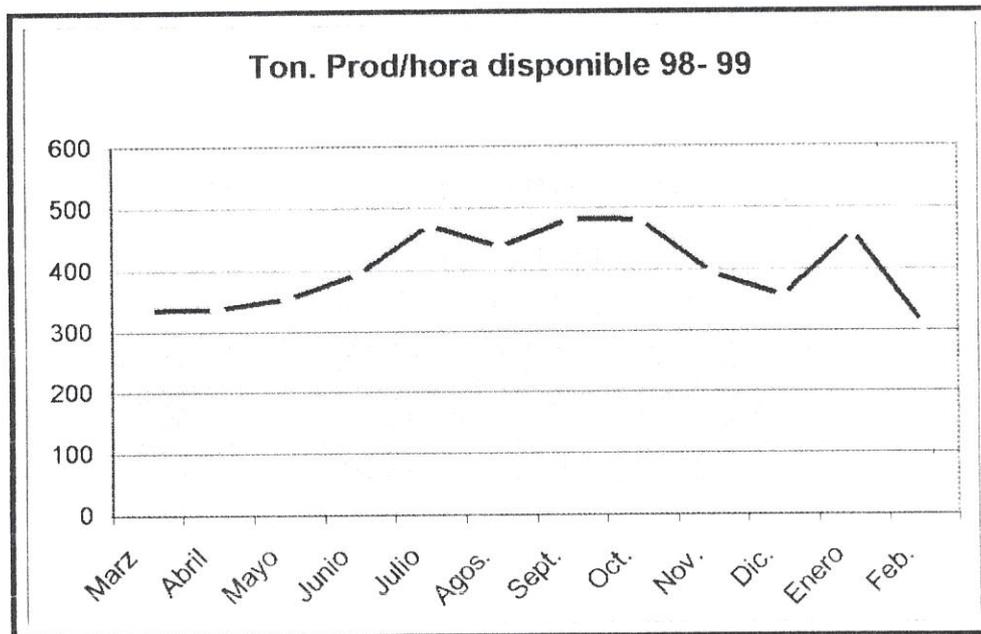
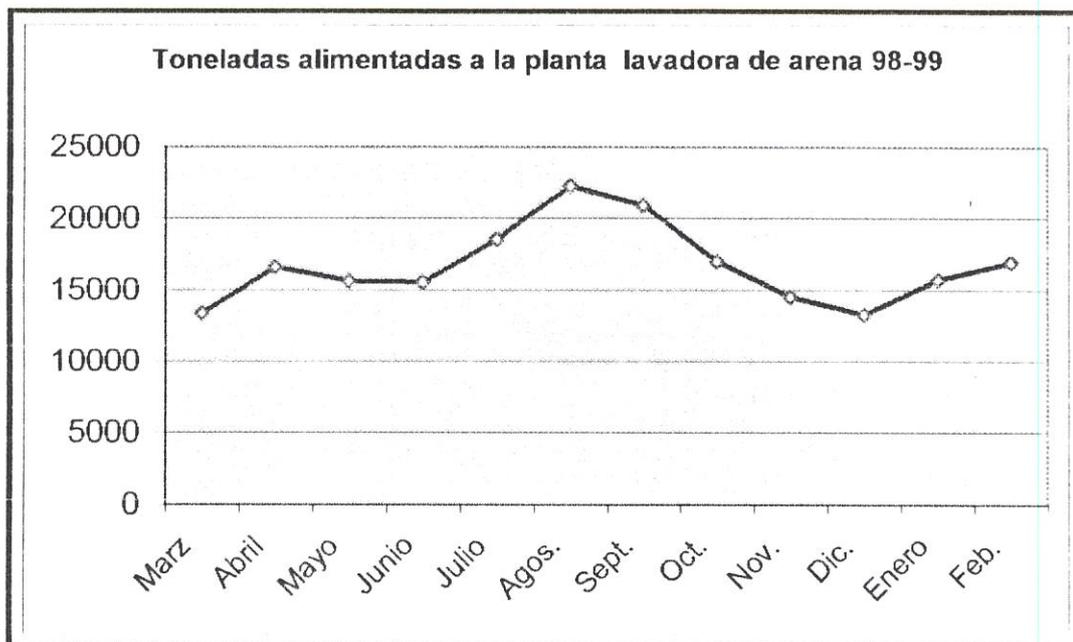


FIG 4.1 INFORME DE PRODUCCIÓN / HORA DISPONIBLE

Ahora analizaremos la arena que entró a lavarse a la planta, después de haber sido clasificada, primeramente por el separador y después el polvo alojado en un silo.

La cantidad de arena que entra a lavarse depende de la materia prima que fue clasificada y seleccionada en los diferentes zarandeos. Si el material contiene mucha suciedad (arcilla, lodo, etc.) se la desecha, ingresando a su vez solo el material que nos interesa. En la figura 4.2, observaremos que a partir del mes de julio la producción tuvo un aumento, y por la estación de invierno fue baja, ya que el material a ingresar es muy sucio.



**FIG 4.2 TONELADAS ALIMENTADAS A LA PLANTA LAVADORA DE
ARENA**

4.2. Decantador.

Los reajustes fueron planteados para el decantador, pero no se lo realizaron, se lo tiene previsto para el año siguiente. Haremos un estudio en base a los informes de producción de la arena total lavada del año 98 ya que en este año se realizaron las primeras optimizaciones, quedando propuestas los reajustes u optimizaciones para un año futuro.

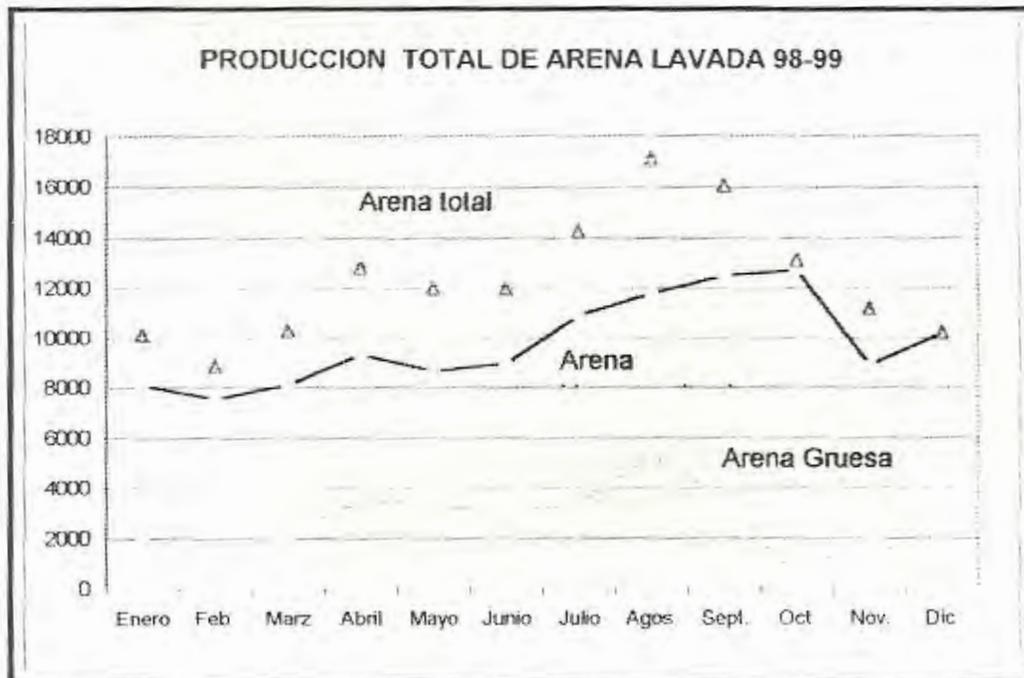


FIG 4.3 PRODUCCIÓN DE ARENA LAVADA.

Nos damos cuenta que a partir del mes de Julio la producción de la arena lavada aumentó, reafirmando lo que hemos propuesto.

En conclusión: la producción de arena lavada es el total de la arena homogenizada más la arena gruesa, no se incluyen los desechos de lodos.

Producción de Arena lavada = Arena Homogenizada + Arena Gruesa

En la figura 4.4., analizaremos los informes de Tonelada de producción / hora disponible, que obtenemos al dividir de la producción de arena lavada para las horas disponibles.

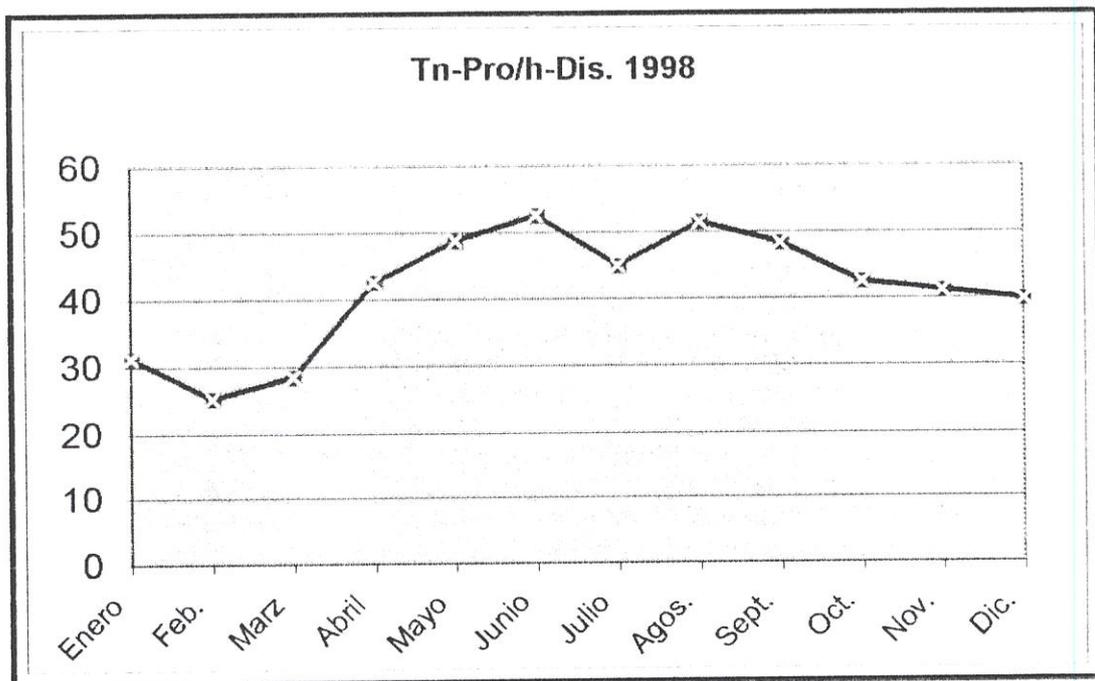


FIG 4.4 INFORME DE TON-PROD./HORA-DISPON.

4.3. Desalojo de los lodos

En base a los informes de producción, analizaremos el porcentaje de los desechos de los lodos, y nos daremos cuenta de la cantidad que se desecha.

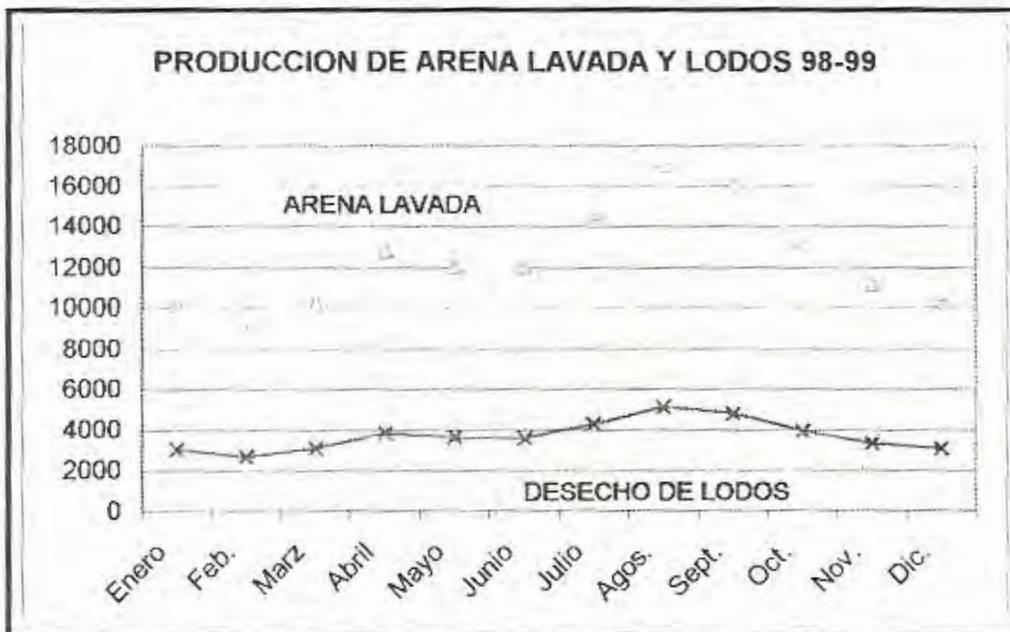


FIG 4.5 PORCENTAJE DE DESECHOS DE LODOS DE LA PRODUCCIÓN DE LA ARENA LAVADA

Observaremos que el porcentaje que nos indica la figura 4.5., es un valor promedio de un 30% del total de arena que entró a lavarse. Es decir:

Arena a lavar = Arena Homogenizada + Arena Gruesa + Porcentaje de lodos

En la figura 4.6 analizaremos los lodos desechados, es decir los que son transportados en cisternas móviles y desalojados en otro lugar. En ambos casos, se tomaban muestras diarias, se las pesaba, para luego ser introducidas en un horno, y al día siguiente se lo pesaba otra vez y se anotaba su valor, y lo comparábamos. En el primero tomábamos las muestras de la producción de la arena lavada, y en el segundo lo hacíamos con los desechos de los lodos propiamente dicho.

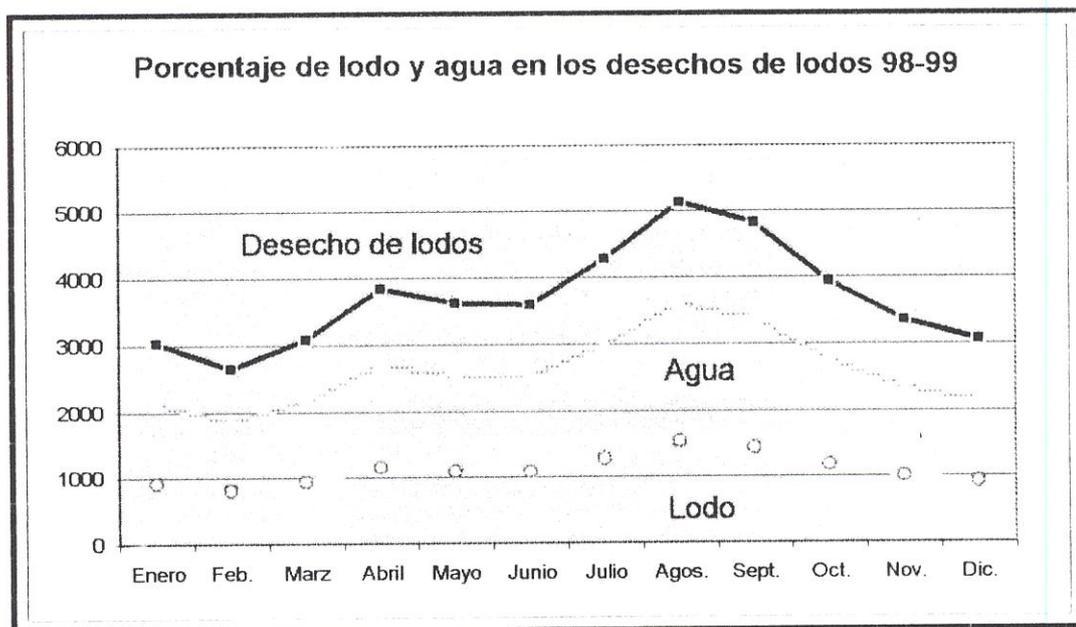
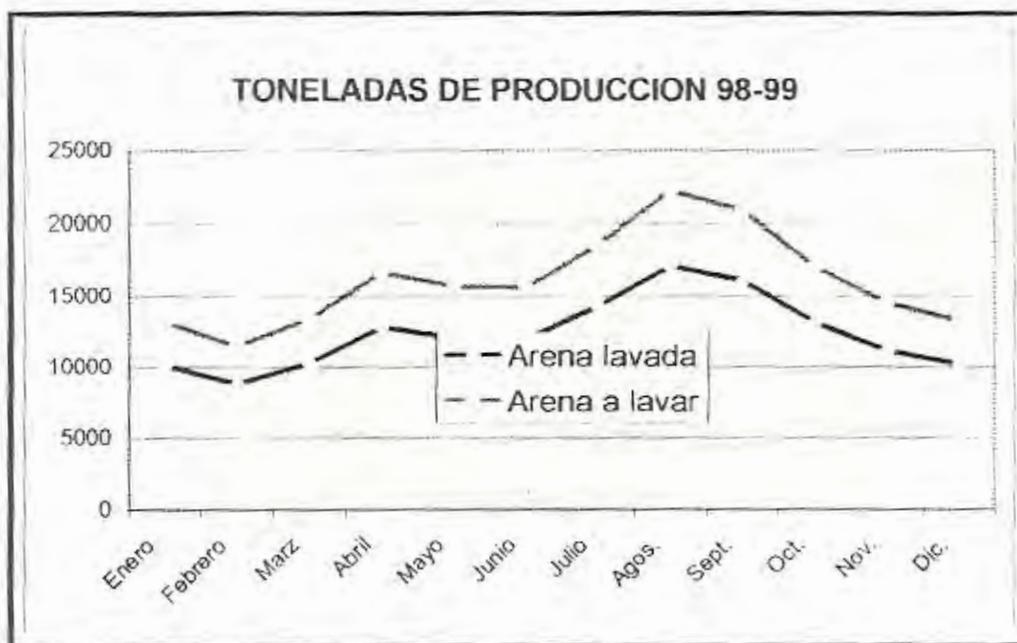


FIG 4.6 INFORME DEL PORCENTAJE DE LODO Y AGUA EN LOS DESECHOS DE LODOS

4.4. Productividad.

Los informes de producción nos informan los resultados obtenidos. En la figura 4.7 indicaremos las toneladas que entraron a lavarse y las toneladas de arena lavada. Antes de optimizar la planta lavadora, el promedio era de 30-50 Ton/hora, se alcanzó un promedio de 50-100 Ton/hora, se quiere lograr una producción que supere las 100 Ton/hora. Este objetivo queda planteado pero no demostrado, debido a que el decantador no se le hicieron los reajustes operativos propuestos.



**FIG 4.7 INFORME DE LA PRODUCCIÓN DE LA ARENA A LAVAR Y
ARENA LAVADA**

Otro informe que nos interesa analizar es el de la eficiencia de operación bruta, que resulta al dividir: el valor de las Toneladas de Prod./hora disponible para el valor de las Toneladas de Prod./ hora trabajada, reafirmando lo anteriormente expuesto.

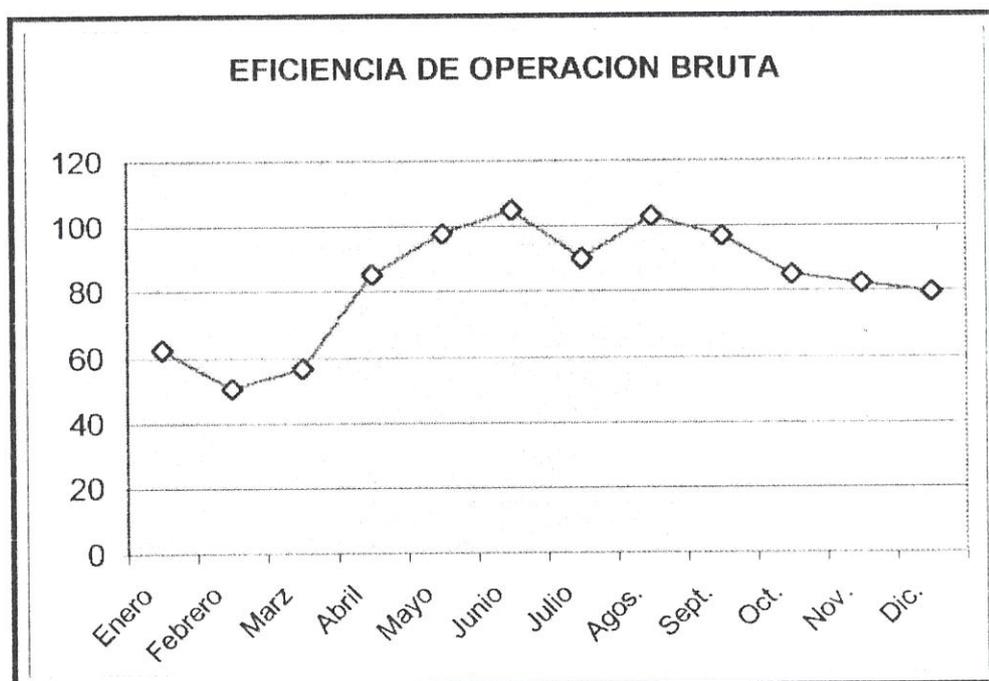


FIG 4.8 INFORME DE LA EFICIENCIA DE LA OPERACIÓN BRUTA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Normalmente la materia prima que se extrae de la cantera que ingresa a la planta, no siempre sale como producto terminado, debido a que se la clasifica de acuerdo a su granulometría, se la selecciona y se rechaza el material que tiene porcentajes de arcilla que exceden las normas técnicas respectivas.
2. El material que entra al separador de polvo ha sido previamente clasificado y procesado por los diferentes zarandeos.
3. Al revisar los catálogos del separador de polvo, se determinó que para obtener un gran margen de selectividad se debe variar la velocidad, la dimensión de las aberturas y la longitud de las aletas de selección.
4. Se requirió aumentar la potencia, para disponer de un mayor torque, lo que nos permitió variar su velocidad.

5. Se varió las dimensiones de las paletas en base a los catálogos de separadores.
6. Normalmente en un separador, las partículas más finas son extraídas para su empleo o su almacenamiento, las más grandes son rechazadas y devueltas para una trituración posterior. Nuestro objetivo es lo contrario, que las partículas más gruesas sean transportadas al silo y las finas sean rechazadas
7. Debido a que la arena es un producto de mucha demanda en el mercado, es necesario aumentar la capacidad de trituración cuaternaria así como la de la planta de arena
8. Un decantador, por lo tanto, no debe ser considerado como una simple cuba, sino como un conjunto, más o menos complejo según el tipo de equipo, cuyo rendimiento está condicionado por su hidráulica, que debe ser objeto de un estudio minucioso.
9. Según la cantidad de materia en suspensión en el agua bruta, el volumen de los precipitados a evacuar y la pendiente del fondo del aparato, el decantador puede equiparse o no con un sistema de rascado de lodos.

10. Con el barrido de fangos en el fondo del decantador se consigue el espesamiento de los mismos: el volumen a extraer es pequeño y la pérdida de agua evacuada con los fangos es mínima.

11. En los decantadores circulares de barrido rotatorio, las velocidades periféricas de los brazos son respectivamente de 1 a 3 cm / seg. y de 2 a 6 cm / seg.

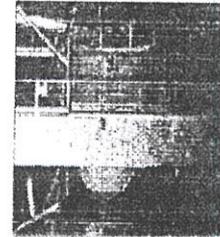
12. Al no tener pendiente de solera, en el fondo del decantador, los lodos se acumulan excesivamente en el fondo, obligando así a hacer una limpieza y mantenimiento más continuo.

ANEXO 1 CATALOGO DE SEPARADOR ANIVI

THE WHIRLWIND CLASSIFIER

The Whirlwind Classifier offers an exceptional ability to achieve a wide range of separations. Its features allow precise definition and delivery of the desired size product while delivering the following Benefits:

- Fine classification of 100 to 400 mesh materials
- Lowest capital cost: no auxiliary equipment, such as cyclones, process dust collectors, air locks and system fans, are needed
- Consistent, high-quality product: external adjustment for variation in feed material
- Saves on operating expenses:
 - Low energy consumption
 - Reduced maintenance: durable, wear-resistant liners
- Processes abrasive materials: long-wearing, ceramic liners and inexpensive, steel-replaceable liners

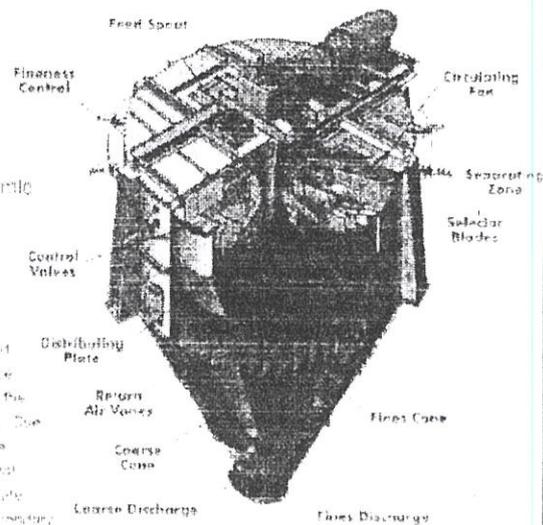


Whirlwind classifier equipped with dust collector

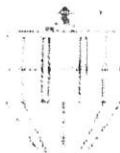
APPLICATIONS

- Aggregates
crushed stone
- Cement
- Ceramics
- Chemicals
- Coal
- Diatomaceous earth
- Fly ash
- Food Products
- Gypsum
- Hydrated lime
- Minerals
- Plastics
- Silica sand
- Soda ash, bicarbonate

Material entering through the feed chute is retained to centrifugal force. Finer particles are blown away from the distributing plate and into the air flow. Due to gravity, these particles settle into the coarse cone. The coarse particles are blown away from the coarse cone into the separating zone, where they are blown into the fines discharge. The coarse particles are blown away from the coarse cone into the separating zone, where they are blown into the fines discharge. The coarse particles are blown away from the coarse cone into the separating zone, where they are blown into the fines discharge.

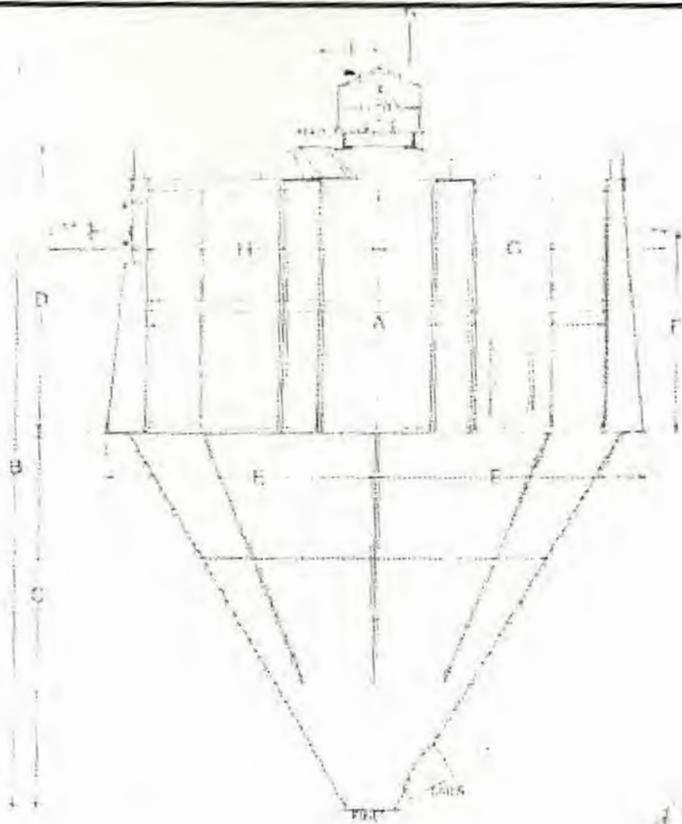


WHIRLWIND CLASSIFIER



| WHIRLWIND AIR CLASSIFIERS | | | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|
| SIZE | A | B | C | WEIGHT (LBS) | H.P. | AIR FLOW (CFM) | CAPACITY (TONS) |
| 20" | 3' 9" | 2' 5" | 1' 9" | 650 | 5.75 | 300 | 1 |
| 3' | 6' 7" | 3' 3" | 3' 0" | 1,500 | 7.5-10 | 500 | 3 |
| 4.5' | 8' 8" | 4' 10" | 3' 0" | 2,400 | 10-15 | 750 | 5 |
| 6' | 10' 9" | 6' 4" | 3' 8" | 6,800 | 15-25 | 1,000 | 14 |
| 8' | 13' 9" | 8' 4" | 4' 8" | 9,500 | 20-30 | 5,000 | 25 |
| 10' | 15' 9" | 10' 4" | 4' 8" | 15,000 | 30-40 | 7,500 | 40 |
| 12' | 19' 1" | 12' 4" | 5' 5" | 18,500 | 40-50 | 11,000 | 56 |
| 14' | 21' 1" | 14' 5" | 5' 5" | 21,500 | 50-75 | 16,000 | 77 |
| 15' | 24' 5" | 16' 5" | 6' 3" | 31,000 | 100-150 | 27,000 | 125 |
| 18' | 27' 7" | 18' 5" | 8' 9" | 50,000 | 250-300 | 40,000 | 200 |
| 20' | 30' 9" | 20' 5" | 9' 0" | 68,000 | 350-400 | 50,000 | 300 |
| 22' | 33' 0" | 22' 5" | 9' 0" | 87,000 | 450-500 | 50,000 | 450 |
| 24' | 38' 10" | 24' 8" | 10' 8" | 117,000 | 600-700 | 126,000 | 600 |
| 25' | 38' 0" | 26' 5" | 10' 8" | 125,000 | 600-800 | 120,000 | 800 |

ANEXO 2 CLASIFICACIÓN DE ALTA FINURA DEL SEPARADOR



Specifications Chart

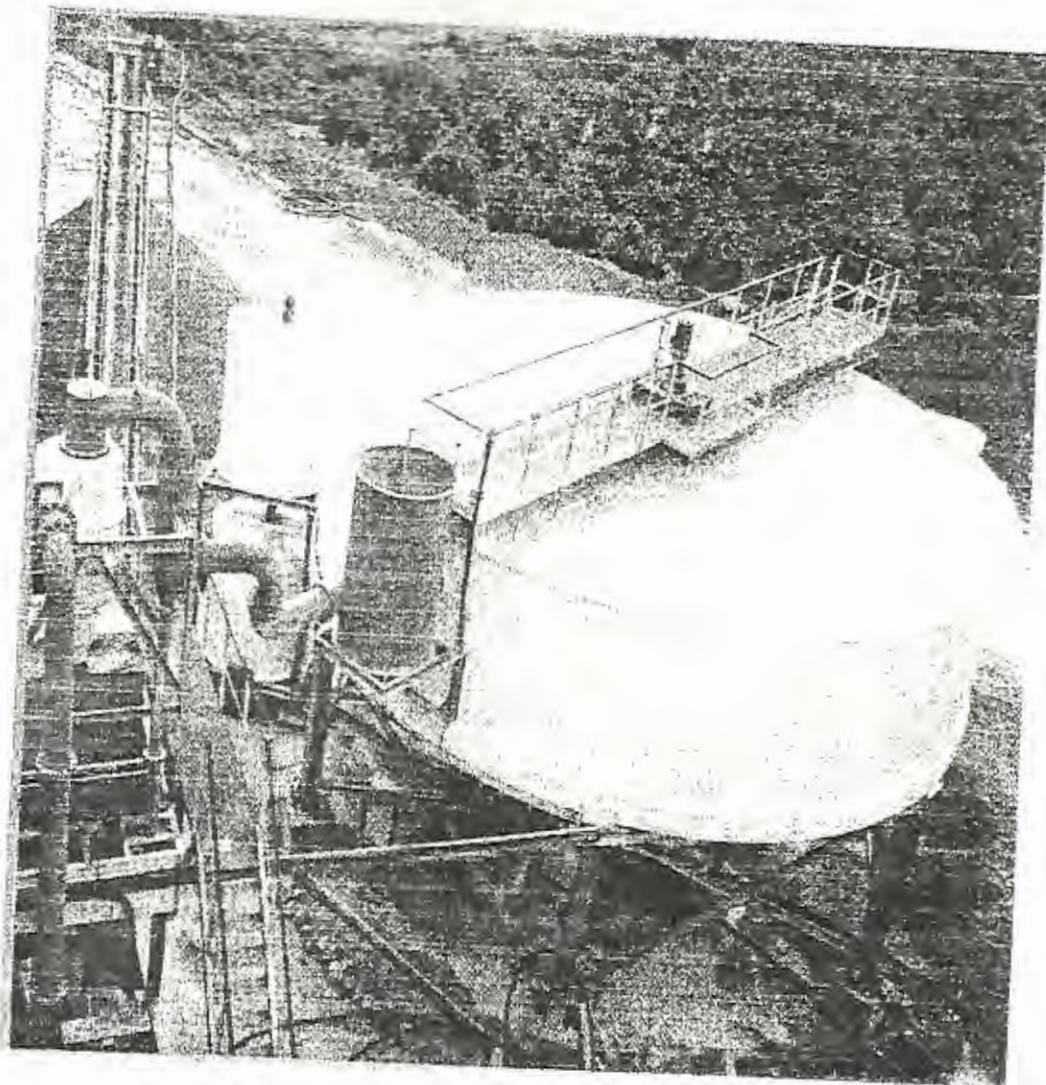
50516-1012

2010/01/17/11

| Size | 20" | 24" | 30" | 36" | 42" | 48" | 54" | 60" | 66" | 72" | 78" | 84" | 90" | 96" | 102" |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A-D | 1.20 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.0 |
| E | 1.215 | 1.415 | 1.615 | 1.815 | 2.015 | 2.215 | 2.415 | 2.615 | 2.815 | 3.015 | 3.215 | 3.415 | 3.615 | 3.815 | 4.015 |
| F | 1.23 | 1.43 | 1.63 | 1.83 | 2.03 | 2.23 | 2.43 | 2.63 | 2.83 | 3.03 | 3.23 | 3.43 | 3.63 | 3.83 | 4.03 |
| G | 1.245 | 1.445 | 1.645 | 1.845 | 2.045 | 2.245 | 2.445 | 2.645 | 2.845 | 3.045 | 3.245 | 3.445 | 3.645 | 3.845 | 4.045 |
| H | 1.26 | 1.46 | 1.66 | 1.86 | 2.06 | 2.26 | 2.46 | 2.66 | 2.86 | 3.06 | 3.26 | 3.46 | 3.66 | 3.86 | 4.06 |
| I | 1.275 | 1.475 | 1.675 | 1.875 | 2.075 | 2.275 | 2.475 | 2.675 | 2.875 | 3.075 | 3.275 | 3.475 | 3.675 | 3.875 | 4.075 |
| J | 1.29 | 1.49 | 1.69 | 1.89 | 2.09 | 2.29 | 2.49 | 2.69 | 2.89 | 3.09 | 3.29 | 3.49 | 3.69 | 3.89 | 4.09 |
| K | 1.305 | 1.505 | 1.705 | 1.905 | 2.105 | 2.305 | 2.505 | 2.705 | 2.905 | 3.105 | 3.305 | 3.505 | 3.705 | 3.905 | 4.105 |
| Motor HP | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 | 10.5 | 11 | 11.5 | 12 |
| Motor kW | 3.7 | 4 | 4.3 | 4.6 | 4.9 | 5.2 | 5.5 | 5.8 | 6.1 | 6.4 | 6.7 | 7 | 7.3 | 7.6 | 7.9 |
| Shipping Weight | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 |
| P | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Code | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 | 50516 |

* Total weight used for operation of separator
 † weight of machine with optional frame

ANEXO 4 CLARIFICADOR CON PUENTE DIAMETRAL



ANEXO 5 INFORME MENSUAL DE PRODUCCIÓN DE ARENA LAVADA

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | AGREGADOS ROCAFUERTE S.A. | | | | | | |
| 2 | REPORTE : PLANTA DE ARENA. | | NOVIEMBRE | | 1998 | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | PRODUCTOS | DEL PERÍODO | DEL PERÍODO | DEL PERÍODO | DEL PERÍODO | DEL PERÍODO | DEL PERÍODO |
| 6 | ARENA HOMOGENIZADA | 2308,80 | 98,00 | 2210,80 | 11071,49 | 8860,89 | |
| 7 | ARENA GRIESA | 9139,69 | 6609,40 | -2530,19 | 4830,72 | 2300,50 | |
| 8 | | TOTAL | | | | 15902,71 | 11161,42 |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | TUBERIAS DE DESBORDO DE LOS BOLSAS (G9-F11) | | | | 0,20 | 3348,43 |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | ARENA QUE ENTRO A LAVARSE (G9-G11) | | | | | 11109,81 |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | TOTAL DE HORAS DISPONIBLES | | | 271,53 | | | |
| 16 | TOTAL DE HORAS TRABAJADAS | | | 257,90 | | | |
| 17 | TUN. DE PROD. NETA DISPONIBLE | | | 41,11 | | | |
| 18 | (G9-D15) | | | | | | |
| 19 | TUN. DE PROD. NETA TRABAJADA | | | 43,28 | | | |
| 20 | CAPACIDAD NOMINAL DE PRODUCTO TERMINADO | | | 50,00 | | | |
| 21 | EFICIENCIA DE OPERACION BRUTA | | | 86,56 | | | |
| 22 | (D17/D19)*100 | | | | | | |
| 22 | EFICIENCIA DE OPERACION NETA | | | 86,56 | | | |
| 24 | | | | | | | |
| 25 | NOTA: Esta producción ya está incluida en la producción de la Secundaria. | | | | | | |
| 26 | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | |
| 33 | Gerente Técnico | | | | | | |

ANEXO 6 INFORME DE MODULO DE FINURA

**AGREGADOS ROCAFUERTE
ANALISIS FISICOS DE PRODUCCION
BASE CLASE I (0-38mm)**

FECHA: 24-9-91

| TAMIZ # | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % PASANTE | NORMA |
|-------------|------------|----------------------|-----------|--------|
| MALLA 75 | 0.0% | 0.0% | 100.0% | 100 |
| MALLA 150 | 0.0% | 0.0% | 100.0% | 20-100 |
| MALLA 300 | 15.0% | 15.0% | 85.0% | 10-8 |
| MALLA 600 | 10.0% | 25.0% | 75.0% | 10-4 |
| MALLA 1200 | 0.0% | 25.0% | 75.0% | 20-10 |
| MALLA 2400 | 2.0% | 27.0% | 73.0% | 20-10 |
| MALLA 4800 | 1.0% | 28.0% | 72.0% | 20-40 |
| MALLA 9600 | 1.0% | 29.0% | 71.0% | 10-0 |
| MALLA 19200 | 5.0% | 34.0% | 66.0% | 2-12 |
| FUNDO | 9.0% | 43.0% | 57.0% | |

SUB-BASE CLASE (I) (0-40 mm)

| TAMIZ # | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % PASANTE | NORMA |
|-----------|------------|----------------------|-----------|-------|
| MALLA 75 | | | | 100 |
| MALLA 150 | | | | 20-10 |
| MALLA 300 | | | | 10-20 |
| MALLA 600 | | | | 0-15 |
| FUNDO | | | | |

SUB-BASE CLASE (I-A) (0-4 mm) (CSP)

| TAMIZ # | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % PASANTE | NORMA |
|------------|------------|----------------------|-----------|--------|
| MALLA 75 | 0.0% | 0.0% | 100.0% | 100 |
| MALLA 150 | 4.6% | 4.6% | 95.4% | 20-100 |
| MALLA 300 | 14.4% | 19.0% | 81.0% | 10-20 |
| MALLA 600 | 15.4% | 34.4% | 65.6% | 10-40 |
| MALLA 1200 | 6.6% | 41.0% | 59.0% | 0-20 |
| FUNDO | 4.4% | 45.4% | 54.6% | |

| TAMIZ No | NORMA A.S.T.M | OPERA BRUESA |
|----------|---------------|--------------|
| No 75 | 100 | |
| No 150 | 20-100 | |
| No 300 | 10-8 | |
| No 600 | 10-4 | |
| No 1200 | 20-10 | |
| No 2400 | 20-10 | |
| No 4800 | 20-40 | |
| No 9600 | 10-0 | |
| No 19200 | 2-12 | |

| TAMIZ No | NORMA A.S.T.M | ANEXO BRUESA |
|----------|---------------|--------------|
| No 75 | 100 | |
| No 150 | 20-100 | |
| No 300 | 10-8 | |
| No 600 | 10-4 | |
| No 1200 | 20-10 | |
| No 2400 | 20-10 | |
| No 4800 | 20-40 | |
| No 9600 | 10-0 | |
| No 19200 | 2-12 | |

| TAMIZ No | NORMA A.S.T.M | OPERA BRUESA |
|----------|---------------|--------------|
| No 75 | 100 | |
| No 150 | 20-100 | |
| No 300 | 10-8 | |
| No 600 | 10-4 | |
| No 1200 | 20-10 | |
| No 2400 | 20-10 | |
| No 4800 | 20-40 | |
| No 9600 | 10-0 | |
| No 19200 | 2-12 | |

| TAMIZ No | NORMA A.S.T.M | OPERA BRUESA |
|----------|---------------|--------------|
| No 75 | 100 | |
| No 150 | 20-100 | |
| No 300 | 10-8 | |
| No 600 | 10-4 | |
| No 1200 | 20-10 | |
| No 2400 | 20-10 | |
| No 4800 | 20-40 | |
| No 9600 | 10-0 | |
| No 19200 | 2-12 | |

OBSERVACIONES:

Firma del analista

BIBLIOGRAFÍA

1. ERAL, Manual de operación, Equipos y procesos,(Madrid-España,1994)
2. GORDON MASKEN FAIR, JOHN CHARLES GEYER, DANIEL ALEXANDER OKUN, Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales, Ingeniería Sanitaria y de agua residuales Tomo 1, 3era Edición 1979,
3. HARDENBERG W. A., EDWARD B. RODIE, Ingeniería Sanitaria, Compañía Editorial Continental, 6ta Edición 1979,
4. METCALF EDDY, Tratamiento y depuración de las aguas residuales, Editorial Labor.s.a., 1era Edición 1977,
5. NAVARRETE GEN, Ingeniería Sanitaria -Seminario en Cuba 1980



6. STURTEVANT, Manual de operación, 103 Clayton Street-Boston,
MASSACHUSSETS ,USA,1980

7. SOTRES, Folleto 59.rue Fernand-Forest, Zone Artisanale de l'Artière,
France