



**Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez**

**Facultad de Mecánica**

**Maestría en Evaluación de " Producciones más Limpias"**

**Título: Evaluación de Producciones Más Limpia en la planta de beneficio de arena -"El Canal "**

**Tesis en opción al nivel académico Master en  
Producción Más Limpia**

**Autora: Ing. Olaida Torres Calzadilla**

**Tutor: Dr. Juan José Cabello Eras**

**" Año 54 de La Revolución "**

## **Agradecimientos**

A mi tutor, por sus ideas, su ayuda y sobre todo por su confianza en que este trabajo llegara a feliz termino.

A mi esposo, hijo y familia por su apoyo en todo momento.

A todos los que de alguna manera me han ayudado y alentado en el desarrollo de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

A la dirección de la empresa en la persona de su director, a los directivos, técnicos, obreros del establecimiento que me apoyaron de forma incondicional.

A todos los compañeros de las diferentes industrias del país, del grupo empresarial, a todos muchas gracias.

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a toda mi familia y en especial a mi padre por ser mi primer maestro.

## **Pensamiento.**

La cultura es la suma de la creación humana y la espina dorsal que sostiene, articula y da sentido a la producción material y de conocimiento, o sea, a los procesos que garantizan la reproducción social del hombre, a todo lo que el hombre ha creado sobre la naturaleza o a partir de la naturaleza, y la cultura de la naturaleza debe erigirse en componente básico de la cultura general del individuo.

Antonio Núñez Jiménez

## Resumen

El presente trabajo titulado “Evaluación de Producciones Mas Limpias en la planta lavadora "El Canal”, tiene como objetivo realizar una evaluación de los problemas ambientales y la generación de desperdicios que afectan el proceso en la planta de beneficio de arena El Canal, y la Evaluación de Aplicación de Practicas de Producciones mas Limpias en el centro , a través de una evaluación preliminar y un estudio detallado de las entradas y salidas del proceso , para identificar las opciones de mejoras e implementar un Plan de Producciones Mas Limpias.

Para la realización de esta investigación fue necesario apoyarse en técnicas de recopilación de información y datos, tales como: Entrevistas personales, revisión de documentos, tormentas de ideas , que sirvieron de apoyo a herramientas como mapas de procesos tecnológicos, proyecto de procesamiento de mineral, gráficos, mediciones en tiempo reales, entre otras.

En el desarrollo de la investigación se utilizo el Esquema del proceso de Evaluación de PML, lo que permitió a través de los pasos y tareas, identificar los problemas y causas que provocan las perdidas en cantidades y valores en el proceso, las cuales son oportunidades de opciones de mejoras para aplicar PML.

## **Tabla de Contenido**

Introducción	11
Capitulo 1. Estudios documentales.	15
1.1 Fundamentos de las Producciones Mas Limpias.	18
1.2 Metodología para la implementación de un programa de P+L.	18
1.2.1 Planeamiento y organización.	18
1.2.2 Evaluación en planta.	21
1.2.3 Estudio de factibilidad.	24
1.2.4 Fase de implementación.	25
1. 3. Opciones de Producción Mas Limpia.	27
1.4. Indicadores.	28
1.4.1. Indicadores de procesos.	28
1.4.2 Indicadores ambientales.	30
1.5 Generalidades sobre producción de áridos.	32
1.5.1 Tipos de áridos.	33
1.5.2 Producciones de áridos naturales granulados. (Arena).	34
1.5.3 Clasificación y lavado de arena.	35
1.5.3.1 Clasificación por vía seca. Cribado.	35
1.5.3.2 Clasificación por vía húmeda.	39
1.5.3.2.1 Hidroclasificadores. Clasificación por grupos.	39
1.5.4 Utilización de arena lavada en Cuba.	52
1.5.4.1 Residuos de arena lavada. Características y propiedades.	52
1.5.4.2 Utilización del residuo de arena lavada en la producción de elementos de piso y pared para vivienda de bajo costo.	53
1.5.4.2.1 Empleo de los residuos de arena en elementos de piso.	53

1.5.4.2.2 Empleo de los residuos de arena en elementos de pared.	54
1.6 Impacto ambiental de la producción de arena y medidas para su control.	55
1.6.1 Gestión del agua en el beneficio de arena.	55
1.6.2 Emisiones a la atmósfera.	57
Conclusiones parciales.	61
Capítulo 2. Características de la industria arenera en Cuba y en la provincia Cienfuegos.	
2.1. Introducción.	62
2.2. Caracterización general de la industria arenera en Cuba.	<b>62</b>
2.2.1. Naturaleza del árido fino en Cuba.	62
2.3 Proceso de producción de arena en Cuba.	63
2.3.1 Tecnología actual de tratamiento de arena en el país.	64
2.4 Descripción técnica de operación de los Hidrociclones.	65
2.4.1 Plantas existentes por provincias. Tec, y volumen de producción.	69
2.5 Caracterización general de la Empresa Mat. de Const. en Cienfuegos.	71
2.5.1 Estructura organizativa de la EMCC y sus U E B.	72
2.5.2 Organigrama Empresa Materiales de Construcción Cienfuegos.	72
2.5.3 Centros de producción de las Unidades Empresariales de Base.	72
2.6 Unidad Empresarial de Base Arena.	74
2.6.1 Organigrama Unidad Empresarial de Base Arena.	75
2.6.2 Tecnología actual de beneficio de arena en la provincia Cienfuegos.	75
2.7 Establecimiento planta lavadora de arena El Canal.	76
2.7.1 Localización, condiciones naturales y socioeconómicas del entorno donde esta situada la entidad.	78
2.7.2 Localización.	78
2.7.3 Vegetación.	78

2.7.4 Suelos.	78
2.8 Desempeño básico de la planta.	79
2.9 Desempeño ambiental de la entidad.	80
2.10 Definición de política ambiental, objetivos y metas.	81
2.11 Manejo de potadores.	83
2.11.1 Manejo del agua.	83
2.11.2 Manejo de la energía.	83
2.12 Calidad del aire y ruido.	84
2.13 Manejo de residuos.	84
2.13.1 Residuales líquidos.	84
2.13.2 Residuales sólidos.	84
2.14 Educación, información y capacitación ambiental.	85
2.15 Percepción de la comunidad circundante y de las autoridades locales de gobierno, sobre el desempeño ambiental de la entidad.	85
Conclusiones parciales.	86
Capitulo 3. Evaluación de PML en la planta.	87
3.1 Evaluación de PML en la planta lavadora de arena El Canal.	87
3.2 Planificación y organización para el inicio de EP+L en la planta lavadora de arena El Canal.	88
3.2.1 Compromiso de la dirección.	88
3.2.2 Involucrar a los empleados.	88
3.2.3 Organización del equipo de Producciones Mas Limpias.	88
3.2.4 Identificación de impedimentos y soluciones a la EP+L en la planta.	89
3.2.5 Enfoque de la EP+L.	90
3.3 Evaluación Preliminar.	90

3.3.1 Recolección y preparación de toda la información básica del proceso tecnológico.	91
3.3.2 Entrada de materia prima, agua y energía en el proceso productivo.	91
3.3.3 Salidas del proceso productivo.	91
3.3.3.1 Destino final de los residuales del proceso productivo.	93
3.3.1.2 Niveles de recirculación interna, reciclado externo, reutilización.	93
3.3.4 Diagrama de flujo del proceso de beneficio de la arena.	94
3.3.4.1 Diagrama de flujo del proceso de beneficio (DFP).	94
3.4 Reconocimiento de la Planta.	95
3.5 Balance preliminar de materiales y energía.	95
3.5.1 Balance de masa.	95
3.5.2 Cantidades y valores anuales de las entradas de materias primas y salidas del proceso.	96
3.6 Caracterización del proceso de beneficio de la arena,	98
3.6.1 Etapa de alimentación,	100
3.6.2 Etapa de lavado y clasificación preliminar,	100
3.6.3 Etapa de relavado y clasificación final.	101
3.6.4 Etapa de almacenamiento y venta.	102
3.7 Diagrama de entradas y salidas en la planta de beneficio.	103
3.8 Construcción de los mapas de consumo cualitativo de materia prima, agua y energía.	104
3.9 Balance de energía.	105
3.9.1 Estimado del consumo de energía y combustible usado en cada área o unidad de proceso.	105
3.10 Evaluación detallada de entradas y salidas.	107
3.11 Balance detallado de masa y energía.	107

3.11.1 Elementos del balance detallado de masa y energía.	107
3.11.2 Recolección de los datos.	108
3.12 Resultados prueba de operación controlada en la planta de beneficio de arena.	108
3.13 Balance detallado de masa.	114
3.14 Diagnostico de causa.	114
3.15 Fuentes de oportunidades para incrementar la eficiencia en el proceso productivo.	114
3.15.1 Buenas prácticas operacionales.	116
3.15.2 Gestión y práctica del personal.	117
3.15.3 Medidas que requieren inversión.	118
3.15.3.1 Evaluación técnica de la factibilidad de la inversión.	118
3.15.2 Evaluación económica de la inversión.	123
Conclusiones parciales.	125
Conclusiones generales.	
Recomendaciones.	
Bibliografía.	
Anexos.	

## **Introducción.**

La producción de materiales de construcción, siempre tendrá una dependencia al uso en mayor o menor medida de recursos naturales para la elaboración de sus productos. Por génesis los productos forman parte de los recursos minerales, forestales o sencillamente estos constituyen sus materias primas fundamentales. De lo anteriormente expuesto se deriva la incidencia directa que tiene la industria en la estabilidad del entorno, sin dejar de mencionar los efectos adicionales por concepto de consumo de recursos energéticos y emisión de residuales, por lo que se incide de manera muy directa al medio ambiente.

La arena (materia prima mineral) desde su extracción en el yacimiento hasta su transformación en arena beneficiada, es una cuenta de los bienes y servicios que representa el desarrollo industrial de un material. Durante el flujo de los procesos que le afectan y transforman consumen otros recursos, además van causando impactos sobre los entornos naturales con los que se relaciona, produciendo residuos, reciclables o no.

El sector de la construcción y muy en específico la Industria de Materiales de Construcción, en los últimos años ha llevado el peso de los diferentes programas de la Revolución: Programas de desarrollo económicos y social, construcción de viviendas, conservación y remodelación de obras de interés social, histórico y cultural.

La producción de áridos en el país es básica para la construcción, por lo que la búsqueda de soluciones que incrementen la eficiencia de los procesos productivos, la disminución de los costos y la reducción de los problemas que afectan el medio ambiente es un reto que la industria debe asumir.

El proceso de beneficio de arena en Cuba, en su totalidad se caracterizan por tener una tecnología de mas de 3 décadas de explotación, son plantas con tecnologías de la extinta URSS, o de otros países miembros del CAME, instaladas en las década del 80, al igual que sus equipos no tecnológicos. Las normas de explotación y beneficio de los minerales son hasta el momento las reglas Únicas de Seguridad de Minerales útiles a cielo abierto emitidas en la URSS y aplicadas en nuestro país, con la Resolución Conjunta del MICONS y CETSS además de las normas de proceso, Metodología aprobada por el Comité

Técnico de Normalización Cubano. Estas plantas se mantienen, recuperan y modifican con soluciones a través de los trabajos de innovación tecnológica, presentados en el Forum de Ciencia y Técnica.

La Empresa Materiales de Construcción de Cienfuegos fue creada por Resolución ministerial No 58 de 1981 y modificada por la Resolución No 123 del 2002 de Adscripta al MICONS y perteneciente al grupo empresarial GEICON. La industria en su objeto social aprobado, tiene como objetivo general: Producir y comercializar áridos, así como otros materiales y productos utilizados en la construcción.

La Empresa Materiales de Construcción Cienfuegos en su estructura organizativa se subdivide en: Dirección General de Empresa, y Unidades Empresariales de Base y Servicios. La Unidad Empresarial de Base de Arena, es un eslabón básico de las producciones, ya que la arena forma parte de los demás procesos productivos. En la Unidad Empresarial de Base Arena, se encuentra el Establecimiento Lavadora de Arena El Canal la cual produce arena de yacimiento natural y beneficiada, y esta ubicada en el municipio Cumanayagua. La planta fue montada entre los años 1982 a 1986 y comenzó su explotación en este último, realizándose de conjunto con el MINBAS y la Empresa Geólogo Minera Centro, determinándose como tiempo de vida útil del yacimiento de 35 a 38 años incluyendo las reservas inundadas que representan un 7% y que no esta previsto en el proyecto extraer por ser un volumen pequeño, además de cambiar el método de extracción diseñado y el equipamiento. Esta planta, su proceso, tecnología, explotación y materia prima es el objeto de esta investigación.

La P+L constituye una excelente oportunidad para la empresa y específicamente para la planta de beneficio, en el camino de disminuir durante el proceso de beneficio de la arena los niveles de contaminación ambiental que hoy ocasiona dicho proceso y a la vez obtener beneficios económicos, la reducción y el consumo eficiente de insumos agua y energía que si bien están cuantificados, no son perfectamente deducibles, como conocido es la perdida de aproximadamente el 30% de la arena extraída del yacimiento que se lleva al proceso que se convierte en un desperdicio(granulometría por encima de 5mm) y otro % en residual (granulometría por debajo de 0,15), que se vierte con el agua residual.

A lo anterior se le añade la posibilidad de, prácticamente, eliminar los riesgos de tener que enfrentar responsabilidades legales. Finalmente todo ello significaría, además una importante disminución de la carga contaminante que hoy tributamos al medio y que no se limita solo a los residuales de arena sino que incluye también el consumo elevado del agua, y el deterioro de los suelos y ecosistema debido a la explotación minera.

**Problema de investigación:** La ineficiencia de la planta lavadora El Canal en el aprovechamiento de la materia prima, el consumo de agua y energía.

**Objetivo general de la investigación:** Aplicar una Evaluación de Producciones Mas Limpias al proceso de beneficio de arena y proponer acciones que mejoren la eficiencia en el uso de la materia prima y racionalicen el consumo de agua y energía.

**Objetivos específicos:**

- Realizar un estudio documental referente al proceso de beneficio de la arena para fundamentar teóricamente el trabajo e identificar los indicadores internacionales y nacionales establecidos para la industria.
- Realizar la Evaluación de Producciones Mas Limpias en la planta de beneficio de arena El Canal.
- Proponer acciones que permitan incrementar la producción y reducir la corriente residual.
- Proponer soluciones de Producciones mas Limpias a los principales problemas identificados en el reconocimiento de la planta y sus procesos.

Para realizar la investigación se partió de la siguiente **hipótesis:** Es posible incrementar la producción de arena con los recursos disponibles actualmente, reduciendo el consumo de agua y electricidad.

Los **aportes** de la investigación se describen a continuación.

- La introducción de la prueba de operación controlada como método de evaluación del trabajo de la planta.
- La cuantificación de las pérdidas dentro del proceso y de los efluentes

- La cuantificación del efecto productivo, económico y ambiental de la instalación de un Hidrociclón.

Con vistas a alcanzar los objetivos planteados en la investigación el trabajo se estructura en tres capítulos, conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo I, se realiza un análisis bibliográfico y documental del tema, en el cual se consideran las referencias bibliográficas para la evaluación y aplicación de Producciones Mas Limpias, los procesos de beneficios de arena, haciendo una descripción detallada de los mismos, lo que posibilita el desarrollo del trabajo.

En el capítulo II, se explican las características de la industria arenera en Cuba y específicamente en la provincia Cienfuegos, caracterizando el proceso productivo de la Unidad Empresarial de Base Arena y específicamente, el proceso de beneficio de arena en el establecimiento El Canal.

En el capítulo III, se evalúan las oportunidades y opciones de mejoras, a través de una evaluación preliminar y un estudio detallado de las entradas y salidas del proceso, y cuales son las mayores fuentes para aplicar las PML.

## Capítulo I – Estudios documentales.

### 1.1 – Fundamentos de las Producción Más Limpia.

La Producción más Limpia (P+L) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, productos y servicios, con el fin de mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente [1] (PNUMA/IMA, 1999).

La metodología de P+L desarrollada por Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) se basa en la evaluación de los procesos e identificación de las oportunidades para usar mejor los materiales, minimizar la generación de los residuos y emisiones, utilizar racionalmente la energía y el agua, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, y mejorar el control de procesos e incrementar la rentabilidad de las empresas. Esta metodología se basa en tres conceptos fundamentales que se conocen en la literatura especializada como las tres 3 R's, Reducción, Reutilización y Reciclaje [2] (ONUDI, 1999) lo que se explica en la figura 1.



Fig. 1 – Conceptos básicos de P+L.

Con la implementación de P+L se busca pasar de un proceso ineficiente de control de la contaminación "al final del tubo", a un proceso eficiente de prevención de la contaminación desde su punto de origen, a través de la conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía en el proceso, previniendo la contaminación, y la creación de soportes administrativos que permitan manejar integralmente los residuos [3](IRG y CMPLH, 2008).

El proceso de reducción de la contaminación se realiza en 4 niveles de acción como se muestra en la figura 2, dentro de los cuales se encuentran los niveles preventivos, la reducción y el reciclaje o reutilización y los de control que son el tratamiento y disposición final.



Fig. 2 - Esquema piramidal de los niveles de reducción de contaminación. Fuente: [8] ((CPTS, 2005)

En la tabla1 se resumen los de beneficios técnicos, económicos y ambientales que se pueden obtener al implementar la estrategia de P+L.

Tabla 1 – Beneficios esperados de la aplicación de una estrategia de PML.

Fuente: [1,4 ] (ONUDI, 1999) (CONAM, 2003).

AI REDUCIR	SE INCREMENTA
<ul style="list-style-type: none"> <li>El uso de la energía en la producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La calidad del producto.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• La utilización de materias primas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La eficiencia, a través de una mejor comprensión de los procesos y actividades de la empresa.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de residuos y la contaminación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La motivación personal.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los riesgos de accidentes laborales, lo que a su vez implica reducción de costos (Ej. Primas de seguro mas bajas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El prestigio, al mejorar la imagen de la empresa al socializar los resultados del proceso.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La posibilidad de incumplimiento de normas ambientales y sus correspondientes sanciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La competitividad en nuevos mercados nacionales e internacionales.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos en la producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingresos y ahorros de la empresa.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tasa de uso de recursos naturales y la tasa de generación de residuos contaminantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La protección del medio ambiente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los riesgos medioambientales en caso de accidentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mejora continua de la eficiencia medioambiental en las instalaciones de la empresa y de los productos.</li> </ul>

Al mejorar la eficiencia en el uso de los insumos de producción y los rendimientos, se reducen los costos, se obtienen mayores ganancias y se mejora la posibilidad de competir con mejores precios en los mercados nacionales e internacionales. El uso eficiente de los recursos, reduce el impacto ambiental y mejora la imagen de la empresa o proyecto.

## 1.2 – Metodología para la implementación de un programa de P+L.

La implementación de un Programa de Producción más Limpia (P+L) consta de cuatro fases fundamentales tal y como se aprecia en la figura 3 [5](GTZ, 2007).



Fig. 3 - Etapas para la Implementación de P+L. fuente: [1] (ONUDI, 1999)

### 1.2.1 – Planeamiento y organización.

En la fase de planeación y organización del programa de Producción mas Limpia, se establece el compromiso de la empresa, indispensable para su implementación exitosa. También se da a conocer la iniciativa al personal y se definen los grupos de trabajo y sus responsabilidades.

Las actividades a desarrollar en esta fase son:

- Obtener el compromiso de la gerencia y de todo el personal de la empresa.
- Organizar el equipo de P+L.
- Definir claramente las metas del Programa de P+L en la empresa.
- Identificar obstáculos y soluciones para el Programa de P+L.
- Capacitar a mandos intermedios y operarios.

La P+L es un esfuerzo de mejora continua que requiere que los directivos, gerentes y personal clave de la empresa o proyecto estén convencidos de sus beneficios y comprometidos con su éxito. Este convencimiento y apropiación es por lo tanto, el primer logro a obtener.

Para organizar un equipo de trabajo de P+L se requiere socializar al personal de la empresa los planes que se tienen respecto a la implementación del programa. Se debe integrar un equipo responsable del mismo, que incluya a empleados clave de

las distintas áreas de la empresa, con un alto nivel de compromiso, todas las áreas de la organización deben estar representadas para lograr una identificación exhaustiva los aspectos a mejorar y para incrementar la masa crítica capaz de aportar propuestas de solución a los problemas encontrados. El equipo será el responsable de la coordinación del programa de P+L, de su implementación y del seguimiento de las medidas recomendadas. En lo posible, se sugiere establecer un plan de incentivos económicos acorde con los logros obtenidos. Al momento de conformar el equipo se recomienda tomar datos que serán imprescindibles para la correcta operación del programa.

Se debe designar a un representante o coordinador del equipo de P+L, que tenga la jerarquía y la autoridad necesarias para garantizar la implementación del programa. Es primordial que el coordinador asuma su tarea con un total compromiso ya que de él dependerá el adecuado desarrollo del programa. El coordinador debe ser capaz de motivar y persuadir al personal sobre los beneficios de la P+L y el cumplimiento de las metas trazadas. Para dar seguimiento a las actividades programadas, llevara registros de los avances, problemas y barreras encontradas; buscara soluciones a estos obstáculos; garantizara el cumplimiento de las metas e informara permanentemente a la gerencia sobre el avance del proceso.

Los miembros del equipo de trabajo deben establecer metas viables en todos los niveles de operación de la entidad. Para ello es necesario estimular la participación de todos los empleados clave y lograr un conocimiento y apropiación del proceso y de los resultados esperados. Una vez definidas las metas se debe elaborar un plan de acción que permita alcanzarlas en el corto, mediano y largo plazo. Este plan debe establecer las metas y acciones de cada el área del sistema productivo, los aspectos a mejorar, los recursos logísticos con los que se cuenta y los responsables directos del cumplimiento de cada meta. Es recomendable establecer fechas de cumplimiento.

Al momento de establecer las metas del programa, se debe indicar los posibles obstáculos en el proceso y proponer soluciones. En esta actividad es de suma importancia la participación activa del personal clave, conocedor de las

interioridades de sus respectivas áreas de trabajo. En la tabla 1 se ponen ejemplos de obstáculos en la implementación de un programa de P+L.

Tabla 2 – Ejemplos de obstáculo a la implementación de un programa de P+L.

Fuente: [6] (CPTS 2003).

<b>Obstáculos</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Solución</b>
De información	Se desconocen los beneficios de la PML.	Mostrar beneficios en base a casos exitosos en la misma u otra empresa.
Institucionales	Resistencia al cambio; falta de espíritu y/o práctica de trabajo en equipo.	Interesar al personal mostrándole beneficios laborales, etc.
Tecnológicos	Incapacidad de adecuar y/o apropiar tecnología.	Mostrar ejemplos de industrias que han adecuado o apropiado tecnología aun cuando no sean del mismo rubro.
Financieros	Falta de recursos financieros y/o baja capacidad de acceso a créditos.	Estimar pérdidas económicas ocasionadas por deficiencias existentes. Mostrar que las inversiones en PML son atractivas debido a los cortos periodos de retorno.

Es necesario además realizar diagnósticos de necesidades de capacitación que permitan identificar las áreas a fortalecer para propiciar el éxito del proceso. El plan de capacitación permitirá desarrollar las bases cognoscitivas necesarias para llevar a cabo el programa de forma eficiente y obtener las metas en el tiempo establecido.

### **1.2.2 – Evaluación en planta.**

La fase de evaluación del proceso en planta es crucial en la implementación de la P+L, ya que al efectuar el reconocimiento de las distintas etapas del proceso productivo se identifican Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA). De este análisis se derivan las principales recomendaciones de mejora. Con la evaluación en planta se determina también la situación general de la empresa, los puntos críticos en el manejo de la energía, del agua y materia prima así como sus efectos financieros y ambientales. Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción (volumen de materiales, residuos y emisiones en el flujo).
- Definir el diagrama de flujo del proceso: entradas y salidas.
- Llevar registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía.
- Organizar el equipo evaluador.
- Generar opciones.

Para reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción se requiere obtener información sobre el volumen de materiales, residuos y emisiones en el flujo. Por lo tanto, mediante una lista de chequeo, se deben establecer indicadores de comparación que permitan evaluar los avances y logros obtenidos con las medidas adoptadas.

Así mismo, deben tomarse datos relevantes del proceso productivo para identificar oportunidades de mejora. Por ejemplo, si se lleva un registro de consumo con los rendimientos obtenidos por unidad de materia prima. También debe analizarse si existen manuales de procesos o planes de mantenimiento, entre otros aspectos. En el Anexo I se muestra la lista de chequeo propuesta por el Centro Nacional de Producción Más Limpia de Honduras. [7] (CNP+LH, 2009)

La definición del diagrama de flujo del proceso y de entradas y salidas consiste en evaluar las entradas y salidas en las distintas fases del proceso productivo, para poder identificar los residuos generados y definir los indicadores para su monitoreo. Al recorrer, analizar y diagramar el flujo del proceso se pueden visualizar los espacios físicos destinados para cada área, definir si la secuencia de las acciones es la más conveniente y generar las recomendaciones pertinentes. El diagrama de flujo es uno de los elementos básicos para establecer indicadores productivos y de eficiencia en el uso de los recursos. Se recomienda describir y cuantificar, para cada una de las fases del proceso productiva todas las entradas, salidas y costos asociados. En la figura 4 se muestra una representación esquematizada de este.

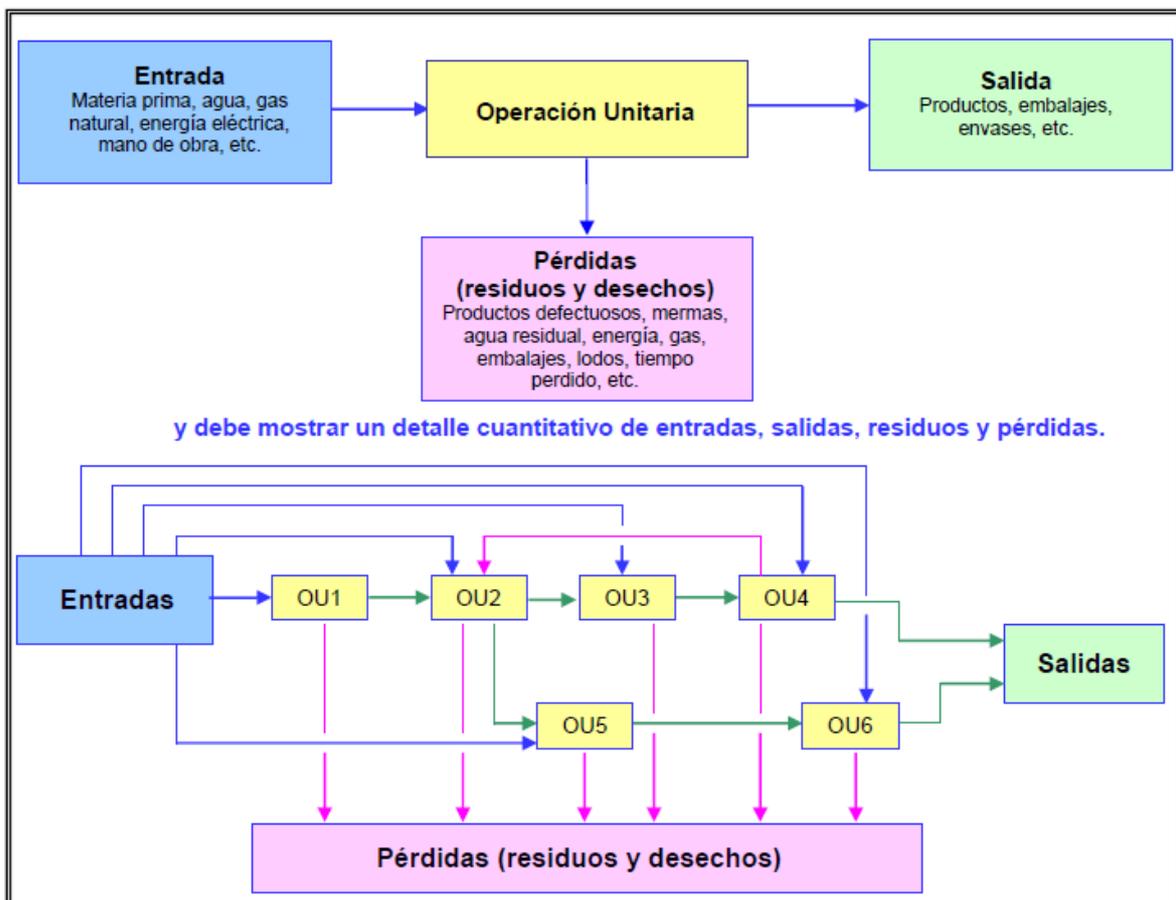


Fig. 4 – Esquema del diagrama de entradas salidas. Fuente: [8] (CPTS, 2005)

Para establecer los registros y mediciones de materias primas, consumo de agua y consumo energético debe diseñarse un recorrido por la empresa [5](GTZ, 2007), a lo largo del cual se resuelvan las siguientes interrogantes:

¿Cómo debe ser el recorrido por la empresa? En el Anexo 2, "Guía metodológica para visitas de diagnóstico rápido" se da algunas recomendaciones para el recorrido. Durante el recorrido se recomienda seguir el flujo del proceso, iniciando por el almacén de los insumos. [7] (CNP+LH, 2009).

¿Cuánto debe durar el recorrido?

¿Qué información se requiere de la empresa antes de iniciar el recorrido? (ejemplo: costos para insumos y salidas, programación del recorrido, participación de otra(s) persona(s) de la empresa, etc.).

¿Qué áreas podrían ser de especial interés?

¿Qué personas deben entrevistarse durante el recorrido (ejemplo: operarios)?

¿Cómo y con qué objetivo?

Se debe contar con toda la documentación requerida para facilitar la identificación de indicadores de comparación, por ejemplo: recibos de consumo de energía, consumo de agua, compra de materiales, controles de inventario, etc., así como realizar mediciones in situ de aspectos de relevancia como niveles de iluminación, niveles de sonido en cuartos de máquinas, volúmenes de aguas residuales, etc.

Al organizar el recorrido por la empresa, se debe considerar la participación del jefe de planta y del jefe de mantenimiento, así como sostener entrevistas con los encargados de bodega, de inventarios, de contabilidad de costos, operadores de equipo, etc.; ya que son los más indicados para identificar detalles sobre el movimiento diario de las entradas y salidas del proceso.

Se debe organizar un equipo evaluador conformado por empleados competentes donde quede representada cada etapa del proceso industrial. Este equipo deberá realizar un recorrido coherente con el ordenamiento del proceso productivo, es decir que se deberá iniciar con la recepción de materias primas e insumos auxiliares y finalizar con la entrega del producto o servicio. Se deberán establecer las funciones de los miembros del equipo evaluador (una persona puede asumir varias responsabilidades). [5](GTZ, 2007).

- Coordinador del equipo: debe preparar la introducción, presentación, cierre, desarrollo de la visita de acuerdo a la planificación, organización de los horarios, etc.
- Responsable(s) de las listas de chequeo: deberá alistar las listas de chequeo necesarias para cada área visitada.
- Responsable(s) de las estadísticas de insumos, residuos y de sus respectivos costos en el proceso de producción: deberá alistar los datos cuantificables de volúmenes y costos de materia prima, agua, residuos, etc. y calcular diferentes escenarios de ahorro.
- Responsable(s) de los flujos de materiales y energía: sistematizará las etapas del proceso, sus entradas y salidas para la preparación de los diagramas de flujo.
- Observador: deberá evaluar la interacción del grupo y los procesos de comunicación.

Al realizar el recorrido por la empresa, se deben identificar los puntos críticos en las distintas áreas del proceso, haciendo énfasis en el uso eficiente de los recursos energía, agua y materia prima; así como en la generación de residuos de producción. Para esto, previo a realizar el recorrido, el equipo tendrá que tener claridad sobre los aspectos a evaluar y los datos a recopilar. Se recomienda elaborar un cuestionario que facilite la evaluación de los procesos durante el recorrido.

La evaluación de la planta generará información sobre metas e intervenciones, que se incorporarán en el plan de acción. Dichas metas deberán ser ambiciosas dentro de los límites de la viabilidad económica social y ambiental de la empresa.

La campaña de divulgación y motivación del programa de P+L dentro de la empresa, mencionada en la fase 1 del programa, debería propiciar un ambiente de cordialidad durante el recorrido de evaluación en planta.

### **1.2.3 – Estudio de factibilidad.**

En esta fase se elaboran los análisis económicos, tecnológicos y ambientales de las oportunidades de mejora encontradas, para identificar las que sean factibles. Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Evaluación técnica, económica y ambiental: considerando como estos elementos afectan a la producción, la calidad, el ambiente, los costos de inversión y beneficios.
- Definición de recomendaciones.
- Selección de las medidas a tomar.

Una vez realizado el recorrido por la empresa, se tendrá que organizar la información recopilada y establecer indicadores que muestren los puntos críticos del proceso, los cuales podrán transformarse en las oportunidades de mejora a recomendar.

Al hacer una recomendación es importante definir con claridad el tipo de medidas a tomar y su forma de implementación, los recursos logísticos y humanos necesarios, el costo preciso de inversión requerida, los resultados, beneficios económicos y ambientales que se obtendrán.

Al seleccionar las medidas a implementar, se debe analizar la relación costo-beneficio de la inversión, así como el periodo de retorno de las acciones. Teniendo en cuenta que la P+L es un proceso de mejora continua las recomendaciones no son estáticas y dependerán de las condiciones de cada empresa que decidirá cuales implementar en función de los beneficios económicos, del ahorro de recursos o de la prevención de problemas ambientales.

#### **1.2.4 – Fase de implementación.**

Esta es la fase de ejecución en la que se concretan las recomendaciones establecidas mediante la asignación de recursos económicos, tecnológicos y humanos. Para la implementación se requiere:

- Establecer la fuente y el monto de los fondos destinados al proyecto
- Ejecutar las medidas recomendadas: asignación de recursos y determinación de los responsables de llevar a cabo estas medidas.
- Monitorear y evaluar las medidas implementadas, mediante el uso de indicadores que permitan medir el desempeño, de auditorías internas y de reportes de seguimiento.

La implementación de acciones, debe ser precedida del diseño de un plan de control y seguimiento, en el que se definan participativamente indicadores de

desempeño, puntos y tiempos de control, formatos de registro, informes y otras acciones que se consideren pertinentes para realizar un seguimiento adecuado.

Para ilustrar este punto se presenta, en el recuadro de la pagina siguiente, el plan que utilizo una empresa para implementar un programa de P+L. Se debe aclarar que los tiempos asignados para cada actividad dependerán del tamaño de la organización, del número de trabajadores, de los productos/servicios y de los procesos involucrados.

La implementación de P+L es la aplicación de una serie de pasos ordenados que conducen a una mejora continua. No obstante, debe recalcar que la metodología de implementación funciona como un círculo cerrado, ya que el proceso no termina con el desarrollo de las recomendaciones establecidas, sino que continua con una etapa de seguimiento de las mismas, para posteriormente identificar e implementar nuevas acciones. En la figura 5 se resumen los pasos a seguir en la implementación de un programa de P+L.

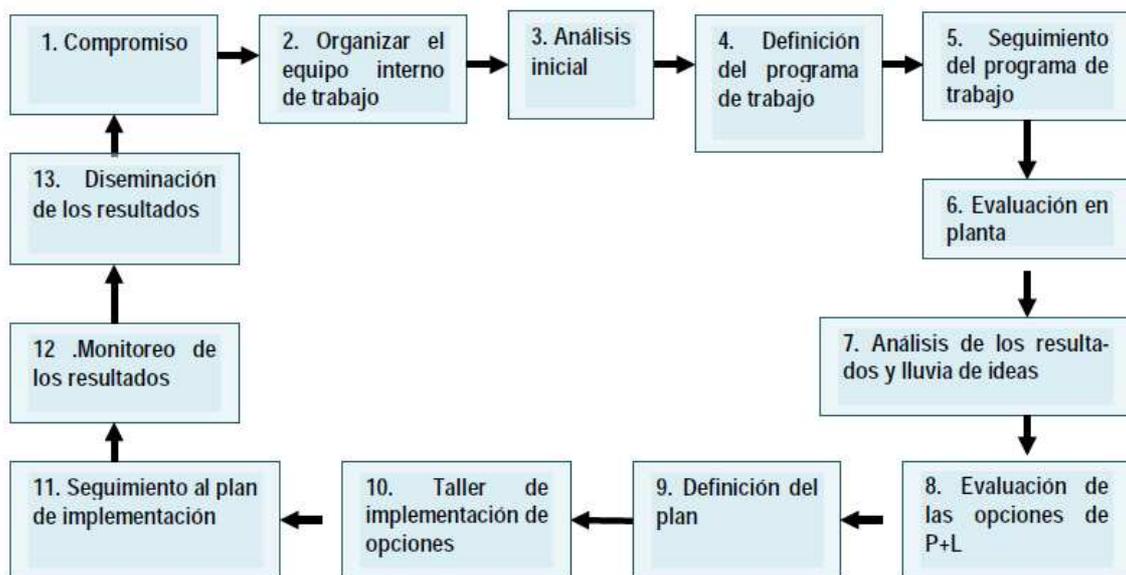


Fig. 5 – Resumen del proceso de implementación de una estrategia de P+L.

Fuente: [1]

(PNUMA/IMA, 1999)

### 1.3 – Opciones de Producción Más Limpia.

Identificadas las fuentes de residuos, de emisiones y de desperdicios de materias primas y energía, se inicia la búsqueda de medidas correctivas. Este proceso tendrá un mayor valor si se consideran las sugerencias de todos los miembros del equipo de P+L. Los elementos de procesos básicos a considerar se presentan a continuación, de manera individual [1] (PNUMA/IMA, 1999).

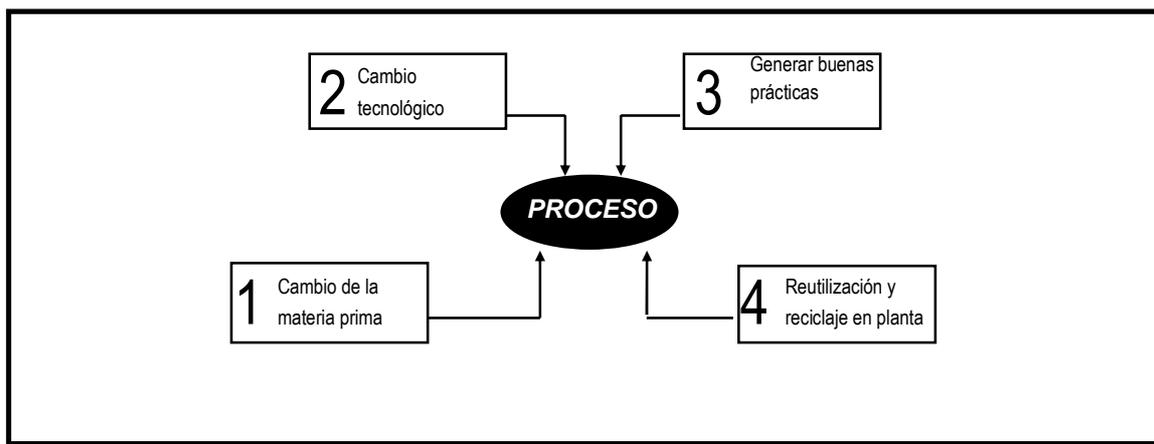


Figura 6- Elementos de proceso para las opciones de producción más limpia.

- **Cambios en las materias primas:** mediante un cambio en las materias primas se puede reducir la generación y formación de residuos o compuestos residuales peligrosos, originados por la presencia de impurezas en las materias primas inadecuadamente seleccionadas. Al sustituir un compuesto peligroso o contaminante por otro más inocuo, se elimina la necesidad de aplicar un tratamiento al "final del tubo".
- **Cambios en las tecnologías:** se refiere a las modificaciones que pueden realizarse en el proceso o en los equipos, con la finalidad de reducir la generación de residuos y emisiones, así como al uso eficiente de materias primas y energía.
- **Generar buenas prácticas operativas:** consiste en una optimización de los procedimientos operativos y administrativos para reducir o eliminar, residuos, emisiones, uso ineficiente de insumos y tiempos de operación.
- **Reutilización y reciclaje en planta:** estas dos actividades pueden dar lugar a una recuperación de materias útiles, y a la localización de nuevos factores que

promuevan el uso adecuado de materias primas, reduciendo así los gastos innecesarios.

De la evaluación del estado de la empresa y de las opciones generales de P+L que se apliquen, se pueden obtener los siguientes resultados: [2,4] (ONU-DI, 1999) (CONAM, 2003)

- Localización de los principales puntos de entrada: consumo de agua, energía, materia prima e insumos.
- Identificación de las principales fuentes de residuos y las cantidades generadas.
- Identificación de procesos que generan una cantidad considerable de residuos.
- Establecimiento de puntos críticos.
- Identificación de fortalezas desde el enfoque de procesos, y desde un análisis económico y ambiental.
- Establecimiento de un programa de reuniones para seguimiento de la implementación.
- Publicación, a nivel interno y externo, de los avances y resultados obtenidos.

#### **1.4 – Indicadores.**

Bajo el enfoque de P+L, los indicadores permiten caracterizar el desempeño de la empresa y brindan información de cada uno de los recursos que se utilizan en el proceso productivo (consumo de agua, energía, etc.) y de los residuos generados durante el desarrollo del mismo (residuos sólidos, emisiones, efluentes, etc.). Bajo este esquema de trabajo no se puede mejorar lo que no se está midiendo o evaluando en las entradas y salidas de un proceso, de ahí surge la importancia de seleccionar y establecer indicadores [9] (CNP+LH, 2008).

##### **1.4.1 – Indicadores de procesos.**

Los indicadores de proceso tienen como propósito de conocer si se está llevando a cabo un uso adecuado de los insumos y materias primas que participan en el proceso productivo, es necesario tener una visión clara de las operaciones en que estos se utilizan. Para lograrlo se utiliza el análisis del "Balance de Entradas y Salidas de los Recursos (materia prima, agua y energía)" representado en la figura 7, donde se pueden establecer una serie de indicadores para evaluar la eficiencia de la empresa o proyecto [9] (CNP+LH, 2008).

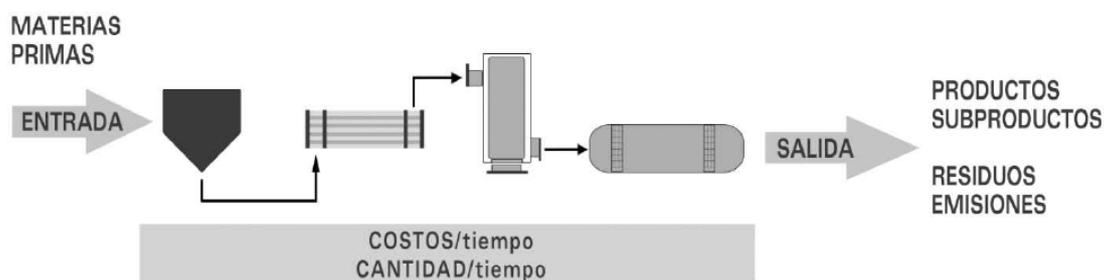


Fig. 7 – Diagrama de entrada salida del proceso. Fuente: [9] (CNP+LH, 2008)

El balance de entradas y salidas establece que el peso total de los materiales que ingresan a un proceso (materia prima, insumos, energía, agua, etc.), es igual al de los productos, subproductos, residuos y emisiones que salen del mismo:

$$\text{Materias primas} - (\text{Productos} + \text{Subproductos}) = \text{Residuos} + \text{Emisiones}$$

Esta ecuación permite detectar posibles fallas en el proceso, definir el impacto del mismo en función de la cantidad de residuos generados y analizar las posibilidades de reutilización o reciclaje de estos residuos. Es también la base para establecer rendimientos del proceso y determinar costos del producto y posibles sub-productos. En el recuadro se presenta los aspectos principales de un análisis de entradas y salidas de un proceso.

Entre los principales aspectos a tomar en cuenta al momento de establecer indicadores, resaltan el nivel tecnológico del proceso y sus áreas de trabajo, aspectos que facilitan la identificación de puntos críticos y las recomendaciones de P+L. Por otro lado, es necesario establecer que las unidades a considerar en los indicadores dependerán en gran medida del rubro evaluado y del tipo de insumos de la empresa o proyecto tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 – Ejemplos de indicadores de procesos. Fuente: [9] (CNP+LH, 2008).

Indicador	Ejemplo de unidades de medida
Cantidad de agua consumida por unidad productiva	Litro o m <sup>3</sup> /ton de producción

---

Cantidad de efluentes o aguas residuales por unidad productiva	Litro o m <sup>3</sup> /ton de producción
--	---

---

Cantidad de energía consumida por unidad productiva	Kwh/ton de producción
---	-----------------------

---

Cantidad de combustibles y lubricantes consumidos por unidad productiva	Gal/ton de producción
---	-----------------------

---

Cantidad de materia prima consumida por unidad productiva	Kg/ton de producción
---	----------------------

---

Cantidad de sub.-productos generados por unidad productiva	Kg/ton de producción
--	----------------------

---

Cantidad de residuos sólidos generados por unidad productiva	Kg o Lbs /ton de producción
--	-----------------------------

---

Cantidad de emisiones al aire: ruidos, polvo, contaminantes por unidad productiva	Litro o m <sup>3</sup> *ton de producción
---	---

---

#### **1.4.2 – Indicadores ambientales.**

Un adecuado control ambiental en una empresa o proyecto se realiza cuando se puede planificar, controlar y supervisar la gestión de los factores ambientales. Por lo tanto, las herramientas de gestión ambiental más importantes son los indicadores que se constituyen en un factor que permite reducir continuamente la contaminación y facilita la comunicación con grupos externos interesados en el tema. [9] (CNP+LH, 2008) .

Uno de los principales atributos de los indicadores ambientales es la capacidad de cuantificar la evolución de la empresa en la protección ambiental, permitiendo

comparaciones año tras año. Los indicadores, evaluados periódicamente, permiten detectar rápidamente tendencias por lo que son sumamente útiles en los sistemas de alerta temprana. Al comparar la información de indicadores ambientales de diferentes empresas, o diferentes departamentos dentro de la misma empresa, se hacen evidentes las fallas y las acciones potenciales de optimización, por lo que estos son esenciales para la definición metas en un programa de mejora. [11] (López Moreda, 2009) En la tabla 4 se pueden apreciar diferentes indicadores ambientales.

**Tabla 4 - Escala y tipos de indicadores ambientales que pueden definirse.**

<b>Escala</b>	<b>Tipos de indicadores que pueden definirse</b>
<b>Global</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Relacionados con gases de efecto invernadero, según listado de protocolo de Kyoto(CO2 Equivalente)</b></li> <li>• <b>Relacionadas con sustancias agotadoras de la capa de ozono, según listado de Protocolo de Montreal.</b></li> <li>• <b>Relacionadas con Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP3), según listado de protocolo de Estocolmo.</b></li> </ul>
<b>Local</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Relacionados con emisiones atmosféricas: material particulado, Dióxido de Sulfuro (SO<sub>2</sub>) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).</b></li> <li>• <b>Relacionados con vertimientos de aguas residuales: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Carbón Orgánico Total.</b></li> <li>• <b>Relacionados con consumo: agua y energía (Combustibles, electricidad).</b></li> <li>• <b>Relacionados con la reducción de generación de residuos.</b></li> <li>• <b>Relacionados con costos de reciclaje, disposición y transporte de residuos.</b></li> </ul>

### 1.5 Generalidades sobre la producción de áridos.

En el ámbito de la industria de la construcción se denomina árido a una tipo de rocas que tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de molienda) se emplean en múltiples aplicaciones que van desde la elaboración de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras y vías de ferrocarril. Es un material granular (pequeños trozos de roca) que en la mayoría de los casos ha de tener una distribución granulométrica adecuada.[12]

El crecimiento del consumo y las especificaciones cada vez más estrictas han convertido a los áridos en la industria minera más importante del mundo en términos de volumen de producción, alcanzando los 17 855 millones de toneladas en 2010 lo que representa más del 60% de la producción minera mundial estimada en 29 000 millones de toneladas [13], y se sitúa al nivel de los minerales metálicos en términos de valor de la producción tal y como se puede apreciar en la figura 8 con un estimado de 70 000 millones de Euros.

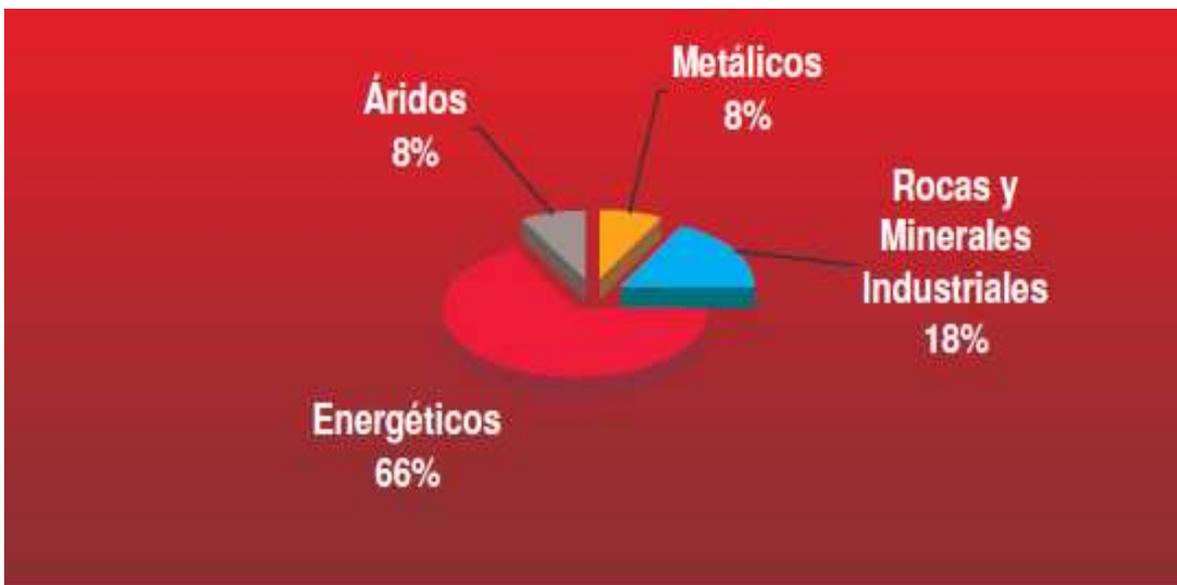


Fig. 8 – Distribución del valor la producción minera mundial. Valor estimado total de 890 000 millones de Euros. [13]

En la figura 9 se puede apreciar el consumo mundial de áridos por zonas geográficas.

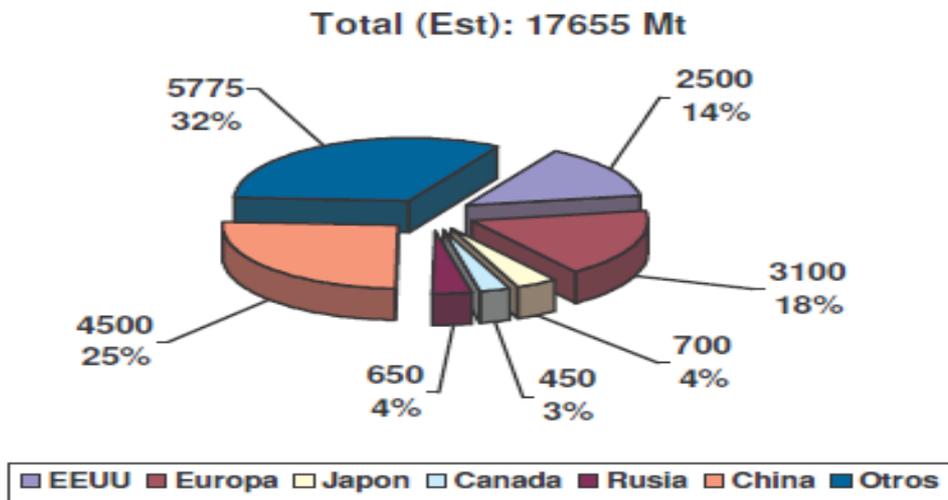


Fig. 9– Consumo mundial de áridos en 2010. [13]

Generalmente no se conoce que para fabricar 1 m<sup>3</sup> de hormigón son necesarias entre 1.8 y 1.9 toneladas de áridos, para una vivienda unifamiliar entre 100 y 300 toneladas, para un colegio de tamaño medio o un hospital entre 4000 y 15000 toneladas y para un kilómetro de vía de ferrocarril unas 1000 toneladas y para un kilómetro de autopista unas 30000 toneladas [14].

En el caso de nuestro país la producción de arena aluvial esta en el orden de los 260 000 m<sup>3</sup> y de piedra para triturar sobre los 2 millones de toneladas [15], distribuida en numerosas extracciones por todas la provincias.

### 1.5.1 – Tipos de áridos.

**Los áridos se clasifican en tres tipos:** [14]

1. **Áridos naturales:** A menudo se utiliza este término para designar áridos producidos sin intervención de proceso de trituración, simplemente mediante cernido o lavado. Se subdividen a su vez, en dos grandes grupos:
  - **Granulares:** provienen de la extracción y clasificación de materiales sueltos y se obtienen en graveras localizadas en terrazas de río, llanuras aluviales y otros depósitos. Se usan tras haber sufrido un lavado y una clasificación, es decir, se usan después de haber sufrido únicamente una modificación

de su distribución de tamaño para adaptarse a las especificaciones exigidas.

- **De machaqueo:** provienen de la extracción, trituración y clasificación de macizos de roca (en canteras) aunque también pueden ser producto de la trituración de las fracciones más gruesas de áridos granulares.
2. **Áridos artificiales:** Árido de origen mineral resultante de un proceso industrial que suponga modificación térmica u otra.
  3. **Áridos reciclados:** Árido resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

**La clasificación de los áridos según su granulometría es la siguiente: [16]**

**Áridos gruesos:** Están compuestos fundamentalmente por gravas. Este tipo de áridos presentan tamaños comprendidos entre 60 y 5 mm. y conforman el esqueleto mineral en cualquier tipo de mezcla bituminosa.

**Áridos finos:** Se corresponden con las arenas, por lo que se excluyen aquellas partículas que no atraviesen el tamiz de 5 mm.

**Filler o rellenedor:** Se define como la fracción mineral que pasa por el tamiz 0.080, esta especie de polvillo fino se obtiene como un producto residual procedente del lavado de los áridos.

### **1.5.2 – Producción de áridos naturales granulados. (Arena)**

La primera etapa de la producción es la extracción, las operaciones básicas para los áridos en general y la arena en particular son las siguientes: [14,17]

- Descubierta de las capas no explotables (Cubierta vegetal, estériles y rocas alteradas)
- Extracción de los materiales.
- Extracción de materiales sin consolidar.
- En vía seca, cuando el yacimiento se encuentra por encima del nivel del agua (capa freática o nivel del curso de agua). Se emplea maquinaria minera como bulldozers, palas cargadoras, retroexcavadoras, atacando el frente de material bien desde arriba, bien desde el pie del mismo, y avanzando la explotación mediante el método denominado minería de transferencia.
- En vía húmeda, cuando el yacimiento se encuentra por debajo del nivel del agua. Se utilizan, desde la orilla, dragalinas con cables y cuchara o

retroexcavadoras (si la profundidad es escasa) y, desde el agua, dragas (en profundidades mayores).

El material extraído requiere ser beneficiado para adecuarlo a los requerimientos del uso que tendrá, por lo que debe ser trasladado a la planta de beneficio que generalmente se sitúa dentro o muy cercana a la explotación, el transporte se realiza de dos formas fundamentales:

Transporte continuo que consiste en cintas transportadoras o, más raramente, tuberías (para sólidos en suspensión)

Transporte discontinuo: camiones y dumpers.

### **Las etapas básicas del proceso de beneficio de áridos son: [14,18]**

- **Trituración:** permite disminuir, en sucesivas fases, el tamaño de las partículas, empleando para ello equipos de trituración de características diferentes, como son los de mandíbulas, los de percusión, los giratorios o los molinos de bolas o de barras. En las arenas y gravas de origen aluvial, únicamente se trituran los tamaños superiores y por lo tanto el número de etapas de trituración suele ser inferior y en algunos casos no estar presentes como el que estudia el presente trabajo.
- **Clasificación:** permite seleccionar el tamaño de las partículas separándolas entre las que pasan y las que no pasan, lográndose áridos de todos los tamaños posibles, en función de la demanda del mercado.
- **Desenlodado, lavado o desempolvado del material:** permite obtener áridos limpios para responder a las necesidades de las aplicaciones industriales ya que la presencia de lodos, arcillas o polvos mezclados con el árido puede alterar la adherencia con los ligantes (cemento, cal, compuestos bituminosos u otros) e impedir una correcta aplicación.

### **1.5.3 – Clasificación y lavado de la arena.**

Existen dos tecnologías para la clasificación de arenas [14]

#### **1.5.3.1 - Clasificación por vía seca. Cribado.**

El cribado es un proceso mecánico de clasificación dimensional de materiales de forma y dimensiones variadas, mediante la presentación de estos sobre superficies con aberturas que dejan pasar los granos de dimensiones inferiores mientras que los granos de medidas superiores son retenidos y evacuados

separadamente. De esta forma, el objeto del proceso de cribado es la separación de los fragmentos según su granulometría.

El proceso se realiza sobre cribas y tamices que presentan unas aberturas de dimensiones determinadas. Según las aberturas y los materiales de que están fabricadas existen los siguientes tipos de superficies de cribado o tamices:

- **Parrillas de barras:** Están formadas por una serie de barras semiparalelas entre sí con distintas aberturas en función de la clasificación deseada y alineadas paralelamente a la dirección de caída del producto.
- **Chapas perforadas:** Se emplean habitualmente en aplicaciones donde es necesario la utilización de superficies de cribado que aguanten tamaños de piedras grandes. Habitualmente se utilizan en equipos que tienen instalado riego.
- **Mallas metálicas:** Son un conjunto de alambres tejidos de diferentes maneras dejando orificios cuadrados o rectangulares por los cuales pasan o son rechazados los materiales durante los procesos de cribado. La luz de malla o espacio que queda entre los distintos alambres es la que va a dar la medida de paso a la hora de realizar la clasificación. En las mallas la superficie útil es mayor que en otras superficies cribantes.
- **Mallas de poliuretano:** Se emplean para el cribado de materiales altamente abrasivos pudiendo ser su duración de 30 a 50 veces superior a las mallas metálicas. Se caracterizan por su duración y rentabilidad, por la fuerte amortiguación del ruido durante los procesos de cribado y por la buena limpieza automática de los paños gracias a la elasticidad del poliuretano.

El cribado por vía húmeda se realiza de manera similar al cribado por vía seca con la única adición de rampas de riego sobre las cribas que aumentan la fluidez y el desplazamiento de la masa a cribar asegurando un mejor arrastre a través de las aberturas. Además facilita la segregación de finos y el desprendimiento de las impurezas de naturaleza arcillosa o limosa. Se diferencia de la clasificación por vía húmeda en que en esta última las partículas van completamente sumergidas en

agua formando una pulpa, mientras que en el cribado la cantidad de agua es muy inferior.

Las cribas de parrillas planas inclinadas están formadas por barras de acero de gran grosor dispuestas en el sentido de la pendiente. Se utilizan para cubrir las tolvas de recepción y evitar que rocas de grandes dimensiones obturen la entrada al pre cribador que va a la trituradora primaria y las mecánicas.

**Existen cinco tipos fundamentales de cribas mecánicas:** [14,21]

**Cribas de probabilidades o cribas Morguensen:** Están formadas por varias bandejas (de 1 a 6, habitualmente 5) superpuestas con inclinaciones crecientes de la superior a la inferior y con luces de malla decrecientes también de la bandeja superior a la inferior. Su movimiento se debe a vibradores accionados en sentidos opuestos que ayudan a eliminar los problemas de cegamiento. El proceso de separación es vertical y rápido y las partículas mayores se separan en la bandeja superior. [19]

**Cribas vibrantes de movimiento circular:** Son las más empleadas en las explotaciones de áridos y minerales. Los materiales avanzan sobre estas cribas gracias a una combinación de la pendiente y del movimiento cinemática impartido por el mecanismo vibrante. Estas cribas están constituidas por una armadura rígida de inclinación variable dependiendo de la materia a cribar, que se apoya sobre un sistema de muelles helicoidales y está equipada con una o varias bandejas superpuestas. Sirven para cribados finos y giran a velocidades comprendidas entre 500 rev/min y 3.600 rev/min mostrado en la figura 10.



Fig. 10 - Cribas vibrantes de movimiento circular. Fuente:

- **Cribas vibrantes horizontales o ligeramente inclinadas:** Tienen su campo de aplicación en los procesos de lavado, escurrido y clasificación donde la altura esta limitada, ya que sus dimensiones en lo que respecta a altura son muy reducidas. Son muy utilizadas en instalaciones móviles de cribado y se puede apreciar en la figura 11 [20,21]



Fig. 11 - Criba horizontal.

- **Cribas vibrantes circulares de eje vertical:** aparecieron en el año 1994 y están diseñadas para materiales finos y extrafinos con tamaños comprendidos entre los 20 mm y las 30 micras. Se utilizan tanto en procesos por vía seca como de vía húmeda y se puede apreciar en la figura 12.[21]



Fig. 12- Criba vibrante circular de eje vertical.

### **1.5.3.2 - Clasificación por vía húmeda.**

Los hidroclasificadores efectúan la clasificación de las partículas en función de sus diferencias de velocidad de desplazamiento relativo en el seno de un medio fluido. Este tipo de clasificación se utiliza en la separación de partículas finas y muy finas con tamaños de corte comprendidos entre 0.2 mm y 2 mm, siendo el medio más económico que se puede emplear cuando se requieren altas capacidades de tratamiento. Las separaciones por cribado mecánico con riego de agua son solo eficaces y poco costosas hasta la luz de malla de 3 mm.

#### **1.5.3.2.1- Hiroclasificadores. Clasificación por grupos.**

Los hidroclasificadores se agrupan en tres grupos que se describen a continuación [14,21]:

**1. Clasificadores estáticos:** Operan mediante decantación por gravedad de las partículas cuyo tamaño es superior a la dimensión de corte. El sedimento de estas partículas se concentra en la parte inferior del aparato, mientras que las partículas con tamaño mas fino son arrastradas por la corriente y se sitúan en la parte superior. Tienen el inconveniente de producir mezclas sólido-líquido, por lo que necesitan un proceso posterior de decantación o agotado. Pueden ser unicelulares o multicelulares.

**-Hidroclasificadores unicelulares:** También se denominan clasificadores a corriente ascendente y en ellos la alimentación se realiza por el extremo superior en forma de pulpa espesa. Las partículas gruesas sedimentan rápidamente, depositándose en el fondo del clasificador y posteriormente se evacuan por un conducto de descarga central situado en el fondo del tanque. Las partículas más finas que se encuentran en el lecho fluido suben hacia la parte superior del clasificador por donde son evacuadas por un colector periférico.

Los hidroclasificadores unicelulares son muy eficaces en la separación y se utilizan mucho en plantas de tratamiento de arenas, mostrado en la figura 13.

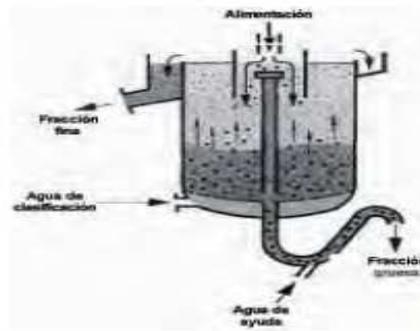


Fig.13- Hidroclasificadores unicelulares.

**-Hidroclasificadores multicelda:** Están formados por varias celdas consecutivas. La pulpa de alimentación se introduce por un extremo del tanque y las partículas sedimentan a medida que avanzan por el tanque en función del tamaño: las partículas de mayor tamaño en las primeras celdas de la cámara y las partículas menores en las celdas más alejadas del extremo de alimentación. La mayor parte del líquido de transporte es evacuado por el extremo opuesto al de alimentación, arrastrando las partículas ultra finas.

Una vez que se ha producido la sedimentación de las diferentes fracciones en sus celdas, estas se descargan mediante válvulas de fondo. Estos hidroclasificadores pueden tener entre 8 y 12 celdas y capacidad hasta 400t/n. Se emplean para la obtención de arenas que deban ajustarse a un rango granulométrico muy estrecho, lo que simplifica el sistema de dosificación de las plantas de hormigón, sabiendo que la granulometría de la arena está totalmente controlada, mostrado en la figura. 14.

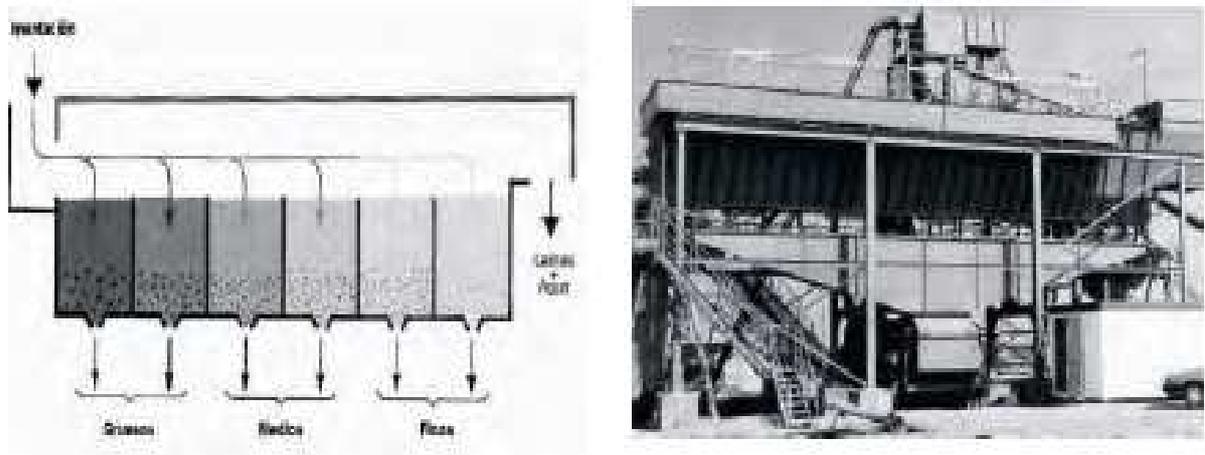


Fig. 14- Hidroclasificadores multicelda.

**2. Clasificadores mecánicos:** Operan por separación en el seno de una corriente de superficie, en la cual las arenas decantadas son extraídas y elevadas de forma continua. Aunque realizan funciones de clasificación, su principal función es la de lavado tanto de arenas como de gruesos, eliminando partículas de diferente naturaleza que el árido y desprendiendo impurezas adheridas a la superficie exterior de la fracción granular.

**Los clasificadores mecánicos comprenden:** Los lavadores de paletas, los lavadores de tornillo, los cilindros lavadores, los tornillos lavadores y las ruedas de cangilones o norias para el lavado y clasificación de finos.

- **Lavadores de Paletas (Log Washers):** Están formados por una caja rectangular que lleva en su interior dos ejes paralelos provistos de paletas que giran en sentido opuesto y generan un movimiento que produce el avance de las partículas hacia el extremo superior del cajón dejando las impurezas en la parte inferior.

Las capacidades de lavado van de 60t/h hasta 190t/h. Se utilizan para el desenlodado o limpieza de gravas y rocas (tamaño máximo 75mm-100mm) con arcillas adheridas o fragmentos de rocas blandas difícilmente despegables. También se utilizan para eliminar los desechos orgánicos, tales como raíces, hojas, impurezas diversas, etc , mostrado en la figura 15



Fig. 15 - Lavadores de paletas.

**-Cilindros Lavadores:** Es un equipo destinado al lavado primario de rocas, gravas y minerales de granulometría gruesa, así como a la preparación, disgregación y homogenización de productos que posteriormente van a ser tratado por vía húmeda.

Consiste en un cilindro de acero que gira sobre su eje y lleva en su interior unos elementos que provocan el movimiento y volteo de los áridos. El producto a tratar es introducido por un extremo o boca de entrada y tras un tiempo de permanencia dentro del cilindro sale por la boca de evacuación colocada en el lado opuesto. Rotan sobre neumáticos, que además de soportar el peso del cilindro, generan el movimiento rotatorio del mismo.

El tiempo de residencia del árido dentro del cilindro determina el efecto de lavado: Para áridos de tipo medio fácilmente lavables el tiempo de residencia esta en torno a 15 minutos, pero cuando el porcentaje de material arcilloso o de aglomerados es elevado el tiempo de residencia se eleva de 3 a 5 minutos mostrado en la figura 16.



Fig.16- Cilindro Lavador.

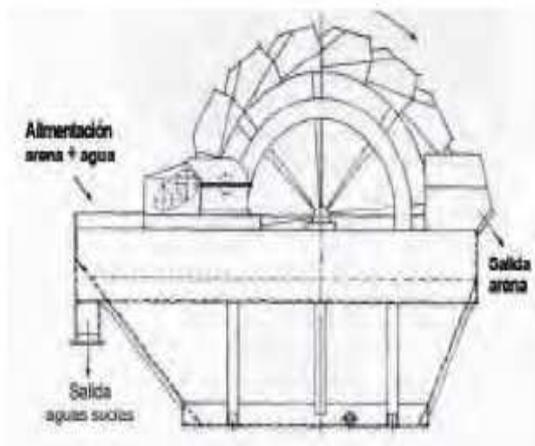
- **Tornillos Lavadores:** Están formados por un recipiente de sección rectangular en cuyo interior hay un eje provisto de una espiral cuyo cometido es el de extraer las partículas sedimentadas en el fondo del tanque gracias a su giro.

Se fabrican tornillos con capacidades entre 30t/h y 400t/h. Se utilizan cuando se pretende el lavado importantes de arena que contienen un alto porcentaje de arcillas o bien cuando la presencia de aglomerados es alta.

- **Ruedas de Canjilones o Norias:** Al igual que los tornillos lavadores, las norias aprovechan la diferencia en las velocidades de sedimentación de las partículas en un medio líquido según su peso o tamaño.

Son equipos de gran simplicidad. La extracción de las arenas se hace una vez que estas se han sedimentado, mediante una rueda provista de canjilones que tienen unas perforaciones para facilitar al drenaje de las arenas durante el recorrido ascendente de la rueda antes de su descarga.

Las norias se construyen en varios tamaños con capacidades de producción entre 40t/h y 340t/h. Se aplican al lavado de arenas con tamaño de 0/3mm y 0/6mm aunque pueden admitir tamaños máximos de 15 mm, m como se muestra en la figura 17.



**Fig.17-** Ruedas de Canjilones o Norias.

- **Cajas de Pulsación:** La separación de producto en la caja de pulsación se basa en el hecho de que las partículas se estratifican en agua con cada pulsación. Las subidas y bajadas de la corriente estratifican los granos en capas por diferencia de densidad, dejando las partículas ligeras sobre la superficie y las pesadas en la zona baja del lecho. Se requiere una diferencia de forma o de densidades para poder realizar la separación.

Están diseñadas para tratar entre 0.5t/h y 700t/h con tamaños de partícula de hasta 150mm, mostrado en la figura 18.



**Fig. 18 -** Cajas de Pulsación.

- **Escurreidores Vibrantes:** Sirven para eliminar agua después de los procesos de lavado y clasificación. Son parecidos a una criba convencional, pero con inclinación de la malla al contrario, es decir más alto el extremo de la salida del escurridor. La malla está formada por un conjunto de paneles(0,2mm a 0,8mm)lo que produce, por efecto de la vibración , el filtrado del agua retenida en la arena a la vez que se produce el avance de esta a lo largo del escurridor hasta el extremo de salida y el retroceso del agua hasta el extremo de alimentación.

El grado de escurrido varía entre el 10% y 15% y se fabrican para producciones de entre 10t/h y 300t/h mostrado en la figura 19.



Fig. 19 - Escurreidores Vibrantes.

**3. Clasificadores centrífugos:** Utilizan fuerza centrífuga para producir la clasificación y esto les permite acelerar los procesos de separación y operar con equipos menos voluminosos que los descritos anteriormente. Reciben el nombre de hidrociclones. [14,21]Estos consisten en un depósito de forma cilindro-cónica en el cual la mezcla de arena y agua entra a presión y empieza a rotar alrededor del eje longitudinal del ciclón, formándose un torbellino que separa en primer lugar las partículas de mayor tamaño, que se pegan a la pared y después los finos. Las aceleraciones centrífugas alcanzadas en los hidrociclones son muy superiores a los valores de la gravedad, por lo que estos equipos son más eficaces que los descritos en los dos grupos anteriores, que solo utilizan la gravedad para la separación.

Debido a su facilidad de separación y eficacia, los hidrociclones no se emplean únicamente como lavadores de arenas, sino que muchas veces son utilizados como complemento de los equipos de lavado convencionales para recuperar las partículas finas que los tornillos y norias pierden en el rebose.

Hay hidrociclones con capacidades desde 20 m<sup>3</sup>/h de caudal de pulpa hasta más de 1.200 m<sup>3</sup>/h. Los procesos de ciclonado permiten obtener unas separaciones desde 10 micras hasta las 500 micras e incluso más, siendo el rango 50 - 200 micras el más fácilmente obtenible.

En la figura siguiente se muestra un hidrociclón y se esquematiza su funcionamiento.

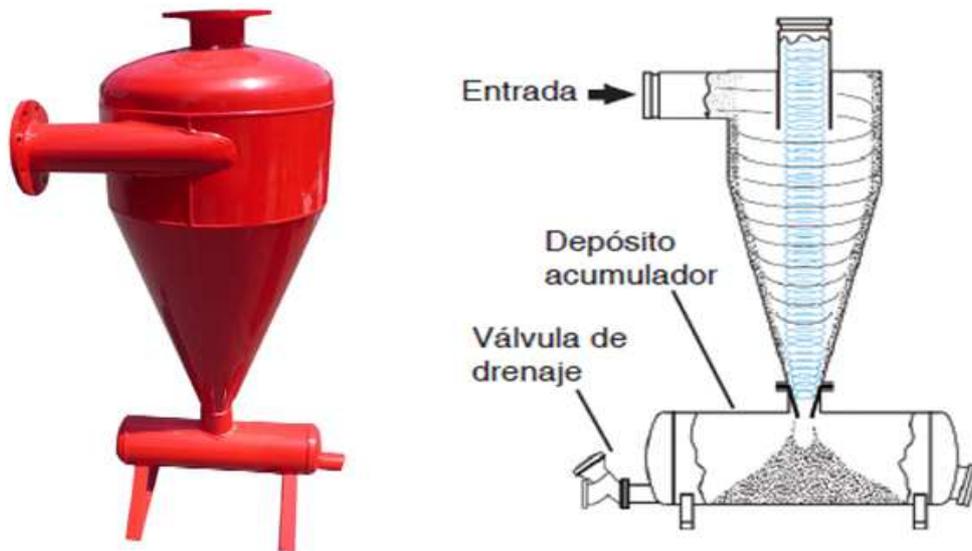


Fig. -20 Hidrociclón.

Los hidrociclones tienen gran aplicación en la recuperación de las arenas finas en suspensión en las aguas residuales de lavado, resulta interesante en primer lugar por el mayor aprovechamiento de la materia prima, en segundo porque facilita y simplifica el proceso de clarificación posterior, y en tercero porque reducirá significativamente la etapa de filtración de lodos y el impacto ambiental de estos. [24]

Cuando el contenido de arcillas en las arenas es elevado o su naturaleza no es favorable, los hidrociclones recuperando finos pueden realizar una doble función, empleándose como etapa previa de lavado, al mismo tiempo que tratan las aguas de rebose de la segunda etapa de lavado con tornillo o noria. Además la

incorporación del Hidrociclón posibilita la instalación de una etapa de escurrido, pues el filtrado del escurridor puede ser reciclado al hidrociclón, evitando así las pérdidas de partículas sólida, en la figura 21 se puede apreciar esta configuración.



Fig. 21 – Esquema de doble lavado. Fuente [24]

Los hidrociclones suelen descargar generalmente sobre un filtro vibrante, equipo conocido en el sector como escurridor el cual gracias a su vibración de alta frecuencia , baja amplitud y a las mallas de fisuras con que va equipado, permite obtener la arena lavada con una reducida humedad, fácilmente manejable y apilable.

Debe notarse que el empleo de escurridores solo es posible, cuando el lavado se realiza con hidrociclones, o bien son empleados estos para recuperar las arenas finas perdidas en el rebose de tornillos y norias. El filtrado de los escurridores, además de agua, contiene partículas finas que atraviesan la malla filtrante, por lo cual y a fin de no perderlas, dicho filtrado es reciclado a la cuba de recepción y desde allí al hidrociclón, que las recupera descargándolas nuevamente sobre el escurridor, mostrado en la figura anterior.

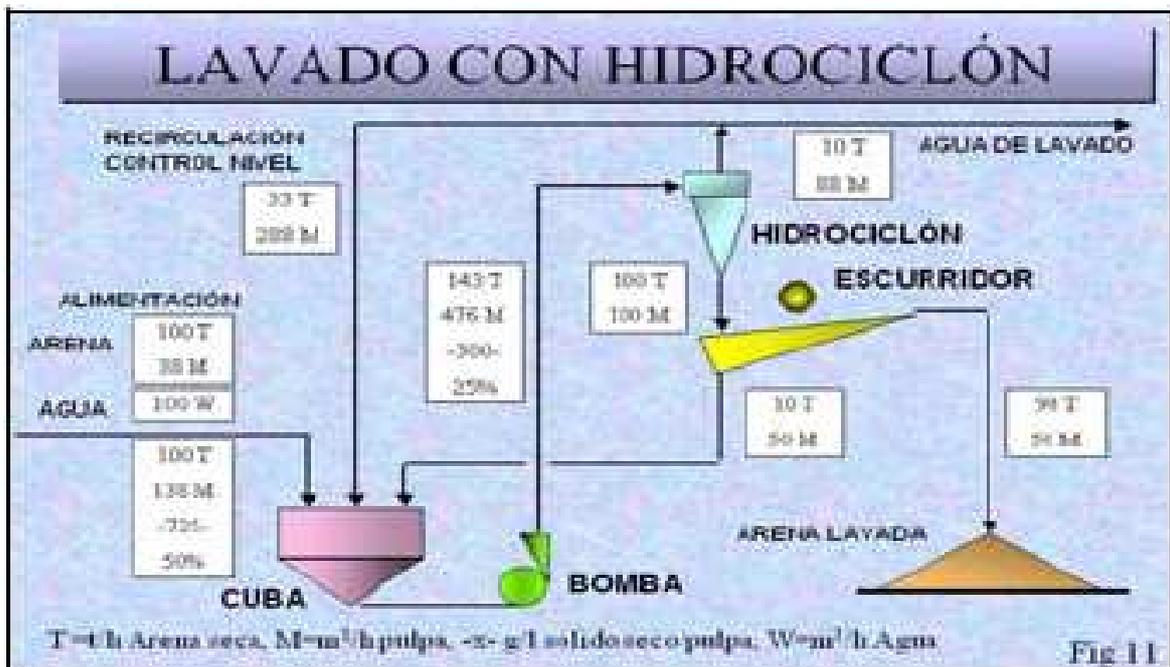


Fig. 22 – Lavado con hidrociclón. Fuente [24]

En el lavado de arenas con Hidrociclón la demanda total de agua esta impuesta únicamente por la propia operación de lavado, es decir por la cantidad de materia sólida a eliminar (finos, arcillas, materia orgánica, etc.) esta variable es la que fija la demanda de agua, por lo que la demanda específica de agua varía en función de la granulometría de la arena, contenido de finos, y del grado de lavado deseado, oscilando entre 1,5 m<sup>3</sup> y 3,5 m<sup>3</sup> por tonelada de arena a tratar. Conviene resaltar que eventualmente los Hidrociclones pueden trabajar con altas concentraciones de sólidos, es decir con bajas relaciones agua / sólido, si bien la operación de separación propiamente dicha se lleva a cabo con concentraciones de sólidos menores, debido a la recirculación interna de aguas de rebose, lo que por otro lado mejora el lavado, mostrado en la Fig. 22

La recuperación de las arenas finas en suspensión en las aguas residuales de lavado, es básica en primer lugar por los motivos apuntados anteriormente y en segundo porque cuando el lavado se realiza con hidrociclones, estas son recogidas, descargándolas sobre la "torta" formada en el escurridor. De este modo los propios sólidos actúan como un filtro que retiene los finos, generándose así un circuito cerrado en el que finalmente las partículas finas van quedando atrapadas en la "torta" producida por el escurridor, la cual actúa

como un filtro que retiene los finos siendo posible, de este modo, filtrar productos con granulometrías tan finas como 30 micras, con escurridores provistos de mallas con luces entre 0,3 mm y 0,8 mm, en la Figura 23 se muestra el detalle. Fuente [24]



Las aguas residuales generadas en las etapas de lavado de arenas contienen sólidos en suspensión, con un tamaño máximo de partículas que en ocasiones llega hasta las **150 micras**. Las partículas con granulometrías entre **30 micras** y **150 micras**, que en adelante denominaremos: "arenas ultra finas", pueden tener un valor económico de obtenerse limpias, es decir, exentas de las fracciones más finas, arcillas y limos.

La posibilidad de mercado de dicha fracción granulométrica, además de representar un valor económico añadido al tratamiento, Fig. 23 – Torta de arena ultrafina. Fuente [24], trae como ventaja adicional el simplificar las etapas de clarificación y filtración de estos efluentes.

Recuperar esta fracción ultrafina, significa reducir la masa sólida en el efluente, es decir disminuir su concentración de sólidos, lo cual se traduce, generalmente, en una reducción del tamaño de los equipos de clarificación y preparación de floculante, y lo que es más importante de los equipos de filtrado.

Las plantas compactas de hidrociclado son el equipo ideal para realizar este trabajo. Dado el tamaño de corte requerido, en el entorno de las 30 micras, en

este tipo de trabajo suelen emplearse hidrociclones con diámetros entre 100 mm y 325 mm, de capacidad relativamente baja, por lo cual es necesario emplear baterías con un número variable entre 2 y 8 unidades, dependiendo del caudal a tratar y el diámetro del hidrociclón seleccionado, en la siguiente figura se puede apreciar una instalación de este tipo. Figura 24.



Fig.24 - Planta compacta de producción de arena ultrafina. Fuente [24]

#### **- Clarificación de las aguas vertidas.**

En Cuba generalmente el proceso de clarificación se realiza disponiendo en grandes superficies tal y como se aprecia en la figura 25, lo que es calificado de mala práctica [24] por la afectación ambiental y paisajística que produce.



Fig. 25 – Vertidos del lavado de arena en grandes superficies.

El empleo de clarificadores posibilita la obtención instantánea de agua de elevada calidad que puede ser evacuada cumpliendo cualquier especificación medioambiental. Obviamente si el agua clarificada obtenida es de calidad suficiente como para ser evacuada a las cuencas fluviales, con mayor razón podría ser reciclada a la propia planta de lavado. Este es el objetivo primordial del tratamiento de los efluentes del lavado de áridos; la consecución de un circuito cerrado sin efluentes, reduciendo al mínimo el consumo de agua fresca.

El proceso de clarificación seguido internacionalmente es el de sedimentación forzada con clarificadores, mediante el empleo de agentes químicos, generalmente orgánicos, conocidos como floculantes, en la figura siguiente se muestra una instalación de este tipo.



Fig. 26- Clarificador de alto rendimiento.

#### **1.5.4- Utilización de residuos de arena lavada en Cuba.**

Los ensayos realizados en la Empresa Materiales de Construcción de la provincia de Holguín para utilizar los residuos de arena lavada en la preparación de elementos de construcción han sido positivos. Debido a sus propiedades físico- químicas, por sustitución o adición, disminuyen los índices de consumo de importantes materias primas (Mosaico), se aprovecha su carácter plastificante (Bloks de hormigón). La cantidad de cemento a consumir para lograr la resistencia requerida en cualquier tipo de hormigón constituye uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en toda la dosificación. Desde el punto de vista económico, el logro mayor obtenido es la disminución del costo unitario total como consecuencia de la reducción de los gastos directos en el renglón de materias primas y materiales. El resto de los renglones permanece inalterable, pues la aplicación del trabajo no requiere de ningún tipo de inversión, máquinas, dispositivos, energía adicional, etc., tampoco demanda de aumentar la fuerza laboral.

##### **1.5.4.1- Residuos de arena lavada. Características y propiedades.**

En nuestro país la casi totalidad de las Plantas de beneficio de arena cuentan, dentro de su proceso productivo, con un sistema de beneficio por vía húmeda a través del cual es separada la fracción fina (0 – 0.15 mm. Esta fracción o residuo de arena es eliminada en el relavado al evacuarse por decantación posterior en el sinfín lavador junto con el agua

residual del proceso, depositándose en la canal de residuos y transportándose a las lagunas de sedimentación artificiales o naturales.

Estos residuos, formados por fillers o porción muy fina, arcilla y/o limo, en distintos porcentajes y con distintas composición mineralógica, se encuentran en polvo o formando pequeños grumos presentando una humedad variable en correspondencia con el tiempo de extraído de la laguna de sedimentación. Al analizar las propiedades de estos residuos, y su posibilidad de ser empleados como materias primas en la producción de materiales de construcción, se realizaron ensayos y caracterizaciones físico-químicas de forma paralela a las pruebas semi-industriales. (JoseToirac.Ciencia y Sociedad1994)

#### **1.5.4.2 Utilización del residuo de arena lavada en la producción de elementos de piso y pared para viviendas de bajo costo.**

La vivienda, necesidad sentida de la población, situación que constituye un reto a enfrentar no sólo por los que definen o deciden esta política en el país, sino también por todos los profesionales de la construcción al buscar soluciones que permitan disminuir los costos de la vivienda tradicional sin menoscabo de los parámetros a cumplir, pues su calidad y vida útil determina en gran medida, la calidad de la vida en general. De ahí la importancia social que representa lograr el acceso de la población a una vivienda digna y económica.

El concepto 'bajo costo' tiene un carácter relativo, pues está en relación directa con el poder adquisitivo de los futuros moradores, así como de las condiciones de entrega y los plazos a cumplir en sentido general. Sin embargo, existen comunes denominadores que sin dudas constituyen los factores determinantes en este propósito, y que son los siguientes:

- Precio de la tierra - Diseño - Técnicas de ejecución
- Precio de la mano de obra - Materiales empleados

##### **1.5.4.2.1 Empleo de los residuos de arena en elementos de piso.**

El mosaico como elemento de piso es uno de los productos de más variada expresión. Una de sus materias primas, la arena sílice es utilizada en la capa decorativa con el fin de influir positivamente en la resistencia al desgaste (cara lisa del mosaico) y la impermeabilidad, la misma procede de minas distantes, lo que eleva su costo por transportación y variación de su suministro durante considerables periodos. Los residuos de arena lavada de minas poseen un elevado

pociento de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), lo que permite utilizarla en sustitución de la arena sílice, obteniendo buen desmoldeo, y la superficie de la losa no presenta anomalías observables. La dosificación establecida para cada amasada es:

- Cemento blanco -----100 Kg.
- Residuo de arena -----70 Kg.
- Carbonato de Calcio-----60 Kg.

#### 1.5.4.2.2 Empleo de los residuos de arena en elementos de pared.

**Bloque de hormigón:** La cantidad de cemento a consumir para lograr la resistencia requerida en cualquier tipo de hormigón constituye uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en toda la dosificación, al utilizar una cantidad de residuo de arena en la misma, esta influye positivamente, incrementando la cohesión de los áridos, ayudando con ello a mantener el bloque conformado desde el desmoldeo hasta su colocación en el lote de almacén, y permitiendo una reducción del cemento sin que descienda la resistencia por debajo de lo permisible, es decir se aprovecha del residuo su carácter plastificante. El bloque de hormigón en todas las formas de producción tecnológica (manual, mecanizada, semiautomática, etc.) presenta un desmoldeo instantáneo y una rápida manipulación, demandando que entre sus materiales componentes exista el elemento aglutinante necesario que mantenga el bloque conformado con un mínimo de resistencia sin desmoronarse. En la tabla siguiente se muestra los indicadores económicos referidos al consumo de cemento.

Tabla 1. Índices de consumo según técnica de operación.

<b>Técnica tradicional</b>		<b>Técnica de sustitución</b>	
Tipo de bloque	Índice de consumo	Cemento (%)	Índice de consumo
cemento (%)			
Bloque 10 cm.	1.176		0.606
Bloque 15 cm.	1.733		1.390
Bloque 20 cm.	2.360		2.061

## **1.6 – Impacto ambiental de la producción de arena y medidas para su control.**

En las instalaciones de beneficio de arena o graveras el principal impacto ambiental es la afección a las aguas superficiales y subterráneas, lo que conlleva a la aplicación de medidas para controlar los posibles daños a ese medio. El ruido, el polvo y las vibraciones producidas tienen, asimismo, efectos sobre el medio ambiente, aunque de menor importancia. [22]

### **1.6.1 – Gestión del agua en el beneficio de arena.**

El consumo de agua en las explotaciones de áridos puede ser muy variable dependiendo de circunstancias tales como que el proceso de tratamiento se realice en vía húmeda o en vía seca, la climatología de la zona. etc. Las principales actividades que consumen agua son:

- Lavado de los áridos en el proceso por vía húmeda.
- Prevención del polvo (pulverización de las instalaciones, riego de las pistas, riego de la carga de los camiones, limpieza de la planta y de los camiones, etc.
- Instalaciones auxiliares (laboratorio, talleres, vestuarios).
- Mantenimiento de la vegetación.

Las fuentes de aguas también pueden ser diversas:

- Aguas de drenaje.
- Captación de agua subterránea mediante perforación.
- Captación de las aguas superficiales.
- Red pública.
- Reciclaje de las aguas de proceso en circuito cerrado tras la decantación.

El proceso de beneficios de áridos en vía húmeda, utilizando tecnología como los hidrociclones donde el proceso se realiza en circuito cerrado, con sistema de recuperación de agua, por lo que el destino más común de las aguas de proceso es la reutilización, no así en los procesos con tecnología convencional donde el

agua no se recupera, y como se ha explicado anteriormente provoca alto consumo y el 80% se vierte.

El vertido a redes públicas es prácticamente inexistente y en muchos casos se vierte en cursos de agua, ríos o arroyos, con la debida autorización, controlando los caudales y adoptando medidas para cumplir con los límites de emisión del efluente. Las aguas de escorrentía siguen un procedimiento similar, mientras que las sanitarias se envían a depósitos cerrados que se vacían regularmente.

Debe destacarse el hecho de que la extracción de áridos no se liberan sustancias peligrosas, tratándose más de una cuestión de modificaciones transitorias de las características físicas del agua (que deben ser evitadas) que de alteraciones de su composición química. En estos efluentes no se encuentran sustancias contaminantes tales como cianuros o metales pesados y sus componentes.

En la tabla 2 se resumen los principales sistemas que tienen que ver con la gestión del agua en esta industria y sus especificaciones.

Tabla 2 – Sistemas implicados en la gestión del agua. Fuente: [22 y 23]

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	OBSERVACIONES
SISTEMAS DE RECOGIDA	Redes perimetrales de drenaje Sistemas de bombeo	Pueden diseñarse para que operen por gravedad El bombeo requiere energía eléctrica
	Depósito hermético	Aguas sanitarias Retirada regular por bombeo
SISTEMAS DE DECANTACIÓN	Los sólidos en suspensión se decantan en balsas o pequeñas presas (de menos de 2 m de altura)	Es el sistema más empleado del sector Requieren un cuidadoso estudio de los volúmenes para su dimensionado
	Los sólidos en suspensión se decantan en tanques de decantación (con floculantes)	Requieren un cuidadoso estudio de los volúmenes para su dimensionado
SISTEMAS DE RECICLADO	Circuito cerrado con desplazamiento a depósitos desde donde se bombea	Reciclado del agua Disminución del consumo específico de agua nueva por tonelada
SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN	Deshidratación de lodos decantados con filtros prensa los cuales forman unas tortas para su eliminación o revalorización	Contenido en humedad = 25%
	Filtros banda – prensa	Poco utilizado. Consumo de floculante muy elevado Coste de mantenimiento más alto
SISTEMAS PARA LA PREVENCIÓN DE VERTIDOS	Depósitos protegidos para hidrocarburos y otros materiales lubricantes, etc.	Cubetas de retención para vertidos accidentales
	Área protegida para trabajos de mantenimiento, de lavado y de abastecimiento de combustible	Separador de hidrocarburos
TRATAMIENTO	Tratamiento químico de las aguas en caso de alteración de su calidad (acidificación, ...)	No es frecuente, por no darse habitualmente ese problema
SUSTITUCIÓN DE SUSTANCIAS	Reemplazo de sustancias peligrosas lubricantes tradicionales por otras biodegradables	Cada vez más habitual Impulsado por los fabricantes de equipos

En los vertidos de las canteras y graveras se controla fundamentalmente la materia en suspensión, los sólidos en suspensión, las materias sedimentables, la D: B: O, la D: Q: O, la temperatura y el calor.

### 1.6.2 – Emisiones a la atmosfera.

Los diferentes procesos que tienen lugar en las exploraciones de áridos suelen producir la emisión de partículas de polvo a la atmósfera.

La sedimentación del polvo -sobre el suelo, la vegetación, los edificios, los tejados. etc. puede ocasionar los siguientes efectos en el entorno:

- Afectar negativamente a la calidad del paisaje.
- Producir molestias leves a terceros.
- Ralentizar el crecimiento de las plantas y dificultar la fotosíntesis.
- Mermar la calidad y la cantidad de ciertos cultivos y alterar la buena presencia de los vegetales y las frutas.

- Ensuciar las vías públicas.

Por otro lado, el polvo en suspensión puede:

- Reducir la visibilidad en las carreteras y caminos próximos a la explotación, afectando a la seguridad de los usuarios.
- Favorecer la aparición de brumas, lo que también afecta a la visibilidad en el entorno.
- Llegar a afectar a las aguas superficiales y las subterráneas por el arrastre de polvo depositado.

La prevención y control de las emisiones de polvo se realizan aplicando un importante conjunto de medidas de muy diversa índole, en función de las distintas fases del proceso productivo de los áridos donde se producen.

Existen tres técnicas principales para el control del polvo en las distintas etapas de fabricación

- El confinamiento por carenado, capotaje o apantallamiento de los puntos de emisión de polvo, impidiéndose la difusión atmosférica.
- El control del polvo por sedimentación en vía húmeda (aspersión, pulverización, creación de nieblas).
- La eliminación mediante la captación de partículas por aspiración y posterior separación aire / partículas, lo que permite la recuperación de finos.
- Además existen otras medidas de control relacionadas con la organización y los procedimientos de trabajo que tienen una gran efectividad y permiten conservar el rendimiento de las medidas anteriormente citadas.

En la tabla 3 se resumen los principales sistemas que tienen que ver con la prevención de las emisiones a la atmosfera en esta industria y sus especificaciones.

Tabla 3 – Sistemas implicados en la prevención de las emisiones a la atmosfera.

Fuente: [22 y 23]

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
<b>CONFINAMIENTO</b>		
CARENADO	Carcasas que recubren a un equipo o a un conjunto	Sistemas que impiden la acción directa del viento sobre el material procesado (capotaje), o que retienen el polvo en su interior (disipas) en puntos de transferencia o en caídas sobre acopios
CAPOTAJE	Sistemas de lonas o de capotas, fijas o semi-móviles	
APANTALLAMIENTO	Barreras naturales o artificiales	
PROTECCIÓN DE LOS PUNTOS DE TRANSFERENCIA	Sistemas que rodean al material al pasar de un equipo a otro	Útil en parques de áridos acoplados a vientos dominantes
<b>SEDIMENTACIÓN EN VÍA HÚMEDA</b>		
PULVERIZACIÓN DE AGUA	Pulverización de agua	Muy eficaces, pero con costos de operación más altos (consumo de agua, etc.)
	Pulverización de agua con agentes químicos	
	Pulverización de agua con espumas	
	Sistemas de aspersores o cartones cuba	
CÁMARAS DE NIEBLA	Atomización por ultrasonidos	
	Atomización por agua a presión	
	Atomización neumática	
<b>CAPTADORES DE POLVO</b>		
ASPIRACIÓN	General	Extracción con sistemas colectores o aspiradores minimiza la generación de emisiones fugaces en equipos de trabajo fijos o en equipos de perforación
	Por equipo	
	Por foco	
SEPARADORES MECÁNICOS	Ciclones simples	
	Multiciclones	
	Aspiradores separadores en vía seca	
SEPARADORES HIDRÁULICOS	De línea de agua	
	Ciclones en vía húmeda	
	Vanurts lavadores	
SEPARADORES ELECTROSTÁTICOS	Precipitadores electrostáticos	
	Cámaras de niebla cargadas electrostáticamente	
SEPARADORES POR FILTRACIÓN	Filtros de mangas con agitadores mecánicos	
	Filtros de mangas de aire reversible	
	Con tobera de aire reversible	
<b>OTROS MECANISMOS DE CONTROL</b>		
REGULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA PLANTA	Regulación automática del flujo de material, del régimen de funcionamiento de los equipos y de los mecanismos de prevención	Evita el funcionamiento en vacío de los equipos Permite una producción más homogénea Evita vertidos
LIMPIEZA EN HÚMEDO	Empleo de agua en las labores de limpieza	Previene la puesta en suspensión del polvo sedimentado
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	Instrucciones y procedimientos de trabajo concebidos para reducir las emisiones de polvo	Control de derrames Labores de limpieza Control del régimen de funcionamiento de los equipos Limitaciones de velocidad
PISCINAS DE LAVADO	Depósitos para el lavado de ruedas por paso de camiones	Se disponen en la salida de la planta hasta las carreteras
	Sistema de riego de la carga	
	Sistema de lavado a presión de ruedas y bajos de vehículos	
ASFALTADO O ESTABILIZACIÓN QUÍMICA SUPERFICIAL	Consolidación o estabilización de las zonas de rodadura, con asfalto, con cal, o con otro agente químico	

Atendiendo a las fases del proceso productivo, las medidas más frecuentes aplicadas son las siguientes:

1. Trabajos de retirada de la cobertera (escarificado, ripado, erosión eólica y rodadura de equipos por superficies desprotegidas) y áreas descubiertas:
  - En periodos secos, riego por aspersión complementando con algún tipo de estabilizador o fijador.
  - Disposición de alguna barrera perimetral que limite la dispersión del polvo.

- Planificación de los trabajos para evitar, en la medida de lo posible, realizarlos en épocas de sequía y de fuertes vientos.
- Restricción del paso de maquinaria no necesaria.

## 2. Tratamiento del material (alimentación, transferencia, acción del viento, trituración, cribado)

- Carenado o cierre de las instalaciones mediante edificaciones.
- Capotaje de las cintas transportadoras, de áridos finos, expuestas a vientos dominantes, protección de los puntos de alimentación y de transferencia, y estudio de la posición y orientación.
- Dispositivos de pulverización de agua para favorecer la sedimentación del polvo o sistema de eliminación por captación.
- Pantallas vegetales o de tierra en torno a la instalación e, incluso, aprovechamiento del relieve del terreno o de edificaciones ajenas para reducir la acción de los vientos dominantes,

## 3. Almacenamiento de los áridos.

- Barreras en los puntos de vertido de materiales finos.
- Pulverización de agua y riego de los apilamientos.
- Barreras o carenado parcial de los acopios de finos.
- Almacenamiento en silos, tolvas, hangares, etc.
- También se pueden adoptar medidas similares a las de la planta de tratamiento para limitar la dispersión de los materiales pulverulentos.

### **Conclusiones Parciales:**

1. La Evaluación de Producción Más Limpia es una estrategia de gestión ambiental actualizada y se puede aplicar en el proceso de beneficio de arena, aunque no se encontraron referencia al respecto.
2. La producción de áridos tiene gran importancia internacional y nacional con una tendencia al aumento.
3. El equipamiento utilizado en el beneficio de la arena es fundamentalmente de índole mecánico y relativamente simple en su funcionamiento.
4. Los hidrociclones hacen más eficiente el proceso de beneficio de arena, reducen el consumo de agua y el impacto ambiental.
5. Los residuos del lavado de arena tienen utilización en la construcción y hay experiencia nacional al respecto.
6. El principal impacto ambiental del proceso de beneficio de arena por vía húmeda es el elevado consumo de agua y los vertimientos de agua residual con un alto contenido de sólido en suspensión.

## **2. Características de la industria arenera en Cuba y en la provincia Cienfuegos.**

### **2.1 Introducción.**

En el presente capítulo se presenta una caracterización general de la industria arenera en Cuba y de la provincia Cienfuegos objeto de estudio.

### **2.2 Caracterización general de la industria arenera en Cuba.**

#### **2.2.1 Naturaleza del árido fino en Cuba.**

La producción de áridos se realiza a partir de cualquier roca convenientemente triturada natural o artificialmente. Las rocas se clasifican en tres grandes grupos: Las ígneas, las sedimentarias y las metamórficas.

Las rocas ígneas son las originadas directamente por la consolidación de un magma procedente del interior de la corteza terrestre. Generalmente son de carácter cristalino y granuloso. La mayor parte de las rocas ígneas: granitos, sienitas, gabros o sus equivalencias falconianas: pórfido, porfirista, diabasas, etc., dan áridos buenos, duros, tenaces y densos, siempre que se encuentren en estado fresco e inalterado, aunque en general, muy abrasivos.

Las rocas sedimentarias son mucho más variadas, las hay muy duras y otras muy blandas, densas o muy ligeras, compactas o muy porosas, su capacidad para proporcionar buenos áridos varía por tanto en igual proporción. Las rocas sedimentarias pueden ser de origen detrítico, químico y orgánico.

Las rocas sedimentarias de origen químico de naturaleza caliza son las que producen mejores áridos y gracias a su gran abundancia las que más se emplean para su obtención. Entre ellas están toda la serie de calizas, dolomitas y margas de las cuales hay muchas aprovechables.

Las rocas metamórficas: Son rocas primitivamente de cualquiera de las dos anteriores, pero posteriormente modificadas por procesos internos de calor o de presión. Son rocas que presentan características intermedias entre las de los dos grupos ya que junto al carácter cristalino y granuloso de sus componentes, análogo a las de las rocas ígneas, estas se encuentran dispuestas en capas como en las sedimentarias.

En Cuba las más frecuentes están las ígneas que son duras y tenaces en general, tan buenas como las rocas plutónicas y granudas salvo que presentan

una esquistosidad muy desarrollada que puede proporcionarles características indeseables y las sedimentarias de la serie de las calizas y margas. En la provincia Cienfuegos los yacimientos de arena pertenecen al grupo de las ígneas.

### **2.3 Proceso de producción de arena en Cuba.**

La arena es un producto básico para la industria de materiales de construcción, y para la industria de la construcción. Cuba consume aproximadamente 6 000 000 m<sup>3</sup> anuales, como parte de la tecnología del hormigón hidráulico para las edificaciones, industria de la construcción y mantenimiento de viales. Por ello es necesario el conocimiento de todo lo relacionado con su desarrollo, extracción y beneficio.

La producción de arena en Cuba es desarrollada y explotada por las Empresas de Materiales de la construcción, pertenecientes al Grupo Empresarial de Industrias de la Construcción (GEICON), subordinado al Ministerio de la Construcción (MICONS).

Las Empresas de Materiales de Construcción existen en cada provincia, con sus Unidades empresariales de Base, que a su vez poseen sus Centros, Establecimientos, y Talleres según su actividad. Con la excepción de Ciudad Habana, donde cada actividad productiva es una empresa. Recientemente con la nueva reestructuración política administrativa realizada, la Empresa Materiales de Construcción de provincia Habana, pertenece a la actual provincia Artemisa, y la provincia Mayabeque tiene en la actualidad, solo las Fábricas de Cerámica Blanca.

Cada Empresa de Materiales de Construcción del país tiene dentro de su estructura funcional la actividad de producción de áridos fino (arena) en dependencia de la constitución geológica de los yacimientos, las características cualitativas y sus usos industriales existente en cada territorio. Y según el grupo al que pertenece el yacimiento de acuerdo al Manual de búsqueda y exploración de Materiales de Construcción de B.N Borzunov, Editorial NEDRA 1977.

El volumen de producción de cada provincia depende de la reserva mineral existente, en función de la cual está la tecnología de beneficio, y para lo cual está establecido la confección del plan de desarrollo minero, por el que se confecciona el plan calendario anual de extracción, actividad que es

supervisada por las empresas Geominera del país(Oriente-Centro y Occidente) y por EXPLOMAT y son utilizadas las Normas de proyección Tecnológicas , Las Reglas Únicas de Seguridad en la Explotación de los yacimientos de Minerales útiles a Cielo Abierto existentes en la extinta URSS y aplicadas hasta el momento en el país.

Las nuevas tecnologías instaladas en el país, responden a la necesidad de minimizar los consumos en el proceso de beneficio de áridos finos, los costos, recuperar árido y con ello extender la vida útil de los yacimientos y canteras.

### **2.3.1 Tecnología actual de tratamiento de arena existente en el País.**

En Cuba, la totalidad de las plantas productoras de arena cuentan, dentro de su proceso productivo, con un sistema de beneficio por vía húmeda, sean plantas de tecnología con sistema mecánico o los hidrociclones instalados en las últimas dos décadas.

La tecnología existente en cada provincia así como la técnica operativa varían en dependencia de la naturaleza del árido, en función del yacimiento sus propiedades físicas-mecánicas, procedencia y reservas. Conociendo que en el territorio nacional existen yacimientos diversos, cada provincia tiene aplicada la tecnología que requiere el proceso.

Actualmente las capacidades de producción de todas las plantas de beneficio de arena en el país están reducidas al 40% de su capacidad inicial de diseño, el 70% de ellas diseñadas inicialmente para dos líneas de producción funcionan con una sola, todo esto repercute en la obtención de la cantidad de árido demandado para los distintos programas de desarrollo. En la figura 1 se muestra una planta tecnología CAME de dos líneas de producción.



Fig. 1- Planta tecnología CAME de 2 líneas de producción.

Con la introducción de nuevas tecnologías se han instalado 13 plantas compactas de Hidrociclonado en 10 provincias, las que por su capacidad de producción están agrupadas en pequeñas, medianas y grandes.

Tipos de plantas de Hidrociclones existentes en el país en la tabla siguiente:

Tabla 2. 1- Tipos de Hidrociclones instalados en el país.

Tipo	Hidrociclones Ø mm	Bomba Ø mm	Escurredor vibrante tipo	Potencia Total kw	Capacidad T/h
MLE 40	400	100- 30m <sup>3</sup> /h	EV-33	22.9	50
MLE 50	500	150- 60m <sup>3</sup> /h	EV-43	37.2	70
MLE 62	625	150- 90m <sup>3</sup> /h	EV-53	49.0	95

#### 2.4 Descripción técnica de operación de los Hidrociclones.

Las plantas de hidrociclonado constan de tres elementos principales:

• **Grupo de Bombeo**    • **Hidrociclones**    • **Escurredor Vibrante**

**Grupo de Bombeo:** Consiste en una cuba de alimentación, de construcción metálica con dispositivo automático de regulación de nivel, soportada por un chasis tipo patín que forma una unidad compacta con el resto de elementos que integran la planta. La bomba centrífuga es de construcción partida, con sus partes hidráulicas resistentes a la abrasión o corrosión, y sello del eje de tipo centrífugo o mediante agua a presión. El motor eléctrico se apoya sobre la bomba en una bancada soporte.

**Hidrociclón:** Es de construcción metálica con revestimiento en elastómero o de construcción integral en poliuretano y las partes sujetas a mayor desgaste en material cerámico.

**Escurreidor Vibrante:** De diseño modular, está equipado con paneles filtrantes de poliuretano acoplados sin tornillería. Los vibradores de accionamiento son de construcción extrapesada con rodamientos de alta capacidad.

**Funcionamiento:** El material de alimentación, procedente generalmente de una criba vibrante, en el caso del Lavado de Arenas, se conduce al **Grupo de Bombeo** desde el que es bombeado al **Hidrociclón** el cual elimina las partículas no deseadas (arcillas, lamas, etc.). El producto lavado, obtenido en la descarga del Hidrociclón es conducido al **Escurreidor Vibrante** para reducir la humedad del producto final y así conseguir un material fácilmente manipulable de la máxima calidad. El rebose del Hidrociclón conteniendo las partículas rechazadas es evacuado a balsas de decantación o a las etapas de clarificación que permiten minimizar el impacto ambiental y la adecuada reutilización del agua empleada en el proceso.

**Aplicación:** En el **Lavado de arenas** para la preparación de hormigones, en sustitución de norias decantadoras o tornillos lavadores.

- En la **Recuperación de arenas Finas**, pérdidas en las aguas de lavado procedentes de norias o tornillos lavadores. Las arenas finas recuperadas en el hidrociclón se incorporan a la arena lavada producida por la noria o tornillo, o se almacenan por separado.
- En la **Clasificación de arenas**, mediante la combinación de hidrociclones con cribas vibrantes de alta frecuencia o hidroclasificadores, es posible obtener una

o dos arenas con una distribución granulométrica ajustada a un huso específico.

Los hidrociclones ya instalados en las diferentes provincias del país, producen piedra- arena artificial, ya que la materia prima que procesan, procede de yacimientos calizos, y teniendo como base la reserva existente en cada territorio se han instalado adecuando su capacidad de producción(T/h) , además de acuerdo al tamaño de separación deseado , caudal a tratar y por la dureza del mineral. Mostrado en los ejemplos de las figuras 2 y 3 hidrociclones instalado en provincia Ciego de Ávila y Las Tunas.



Fig. 2- Planta de capacidad de 50t/h instalada en provincia Las Tunas.



Fig. 3- Planta con capacidad 90t/h instalada en la provincia Ciego de Ávila.

El Hidrociclón por su facilidad de empleo y alta eficiencia es en la actualidad el único equipo utilizado en la recuperación de las arenas finas en suspensión en las aguas residuales de lavado, lo que facilita y simplifica el proceso de clarificación del agua y logra un aprovechamiento óptimo de la misma, además de mejorar la calidad de las arenas, ya que las arcillas, lamas, etc. se disuelven en el lavado, de tal modo que el agua retenida en los áridos después del lavado contiene arcillas que una vez producida la evaporación del agua, durante su almacenamiento, quedan recubriendo las partículas de arenas, en la figura 4 se muestra un a salida de escurrido de arenas finas de un Hidrociclón.



Fig. 4.- Escurrido de Arenas finas.

#### 2.4.1 Plantas existentes por provincias. Tecnología y volumen de producción.

Provincias	Cantidad de Plantas	Tecnología	Volumen total Producción(M M3)	
			Diseño	Disponible
Pinar del Rio	3	CAME, España	928.0	450.0
Provincias Habaneras	7	CAME, España, Mixta Cuba	1,793.0	1,012.0
Matanzas	4	España, Mixta	767.0	520.0

Villa Clara	4	España, URSS, Cuba	1,398.0	420.0
Cienfuegos	2	CAME	237.0	120.0
Sancti Spiritus	1	CAME	108.0	45.0
Ciego de Avila	1	CAME	690.0	180.0
Camaguey	5	Inglaterra, Cuba, CAME	1,504.0	457.0
Las Tunas	3	España, Cuba, CAME	130.0	457.50
Holguín	5	España, Cuba, CAME	130.0	595.0
Gramma	4	España, Cuba, CAME	1,367.0	322.0
Guantánamo	4	España, Cuba, CAME, MIXTA	948.0	120.0
Santiago de Cuba	3	España, Cuba, Alemania	416.0	292.0

Isla de la Juventud	1	Cuba	100.0	25.0
---------------------	---	------	-------	------

## **2.5 Caracterización general de la Empresa Materiales de Construcción Cienfuegos.**

La Empresa de materiales de construcción de Cienfuegos fue creada por Resolución ministerial No 58/81 dictada con fecha 3 de enero del 81 y modificada por la resolución ministerial No. 123/2002. La EMC de Cienfuegos adscrita al MICONS como Empresa y perteneciente al grupo empresarial GEICON, su Oficina Central, se encuentra en calle 63 Km.3 Pueblo Grifo, Cienfuegos.

La entidad está constituida por una dirección General de la Empresa; integrada por las direcciones de Producción, Contabilidad y Finanzas, Recursos Humanos, Equipos y Mecanización y Desarrollo Empresarial.

**Objeto Social:** El objeto social de la empresa aprobado, tiene como objetivo general: Producir y comercializar áridos, así como otros materiales y productos utilizados en la construcción.

- Mortero Cola
- Carpintería de Madera
- Elementos de Pared
- Elementos de Piso
- Elementos de Cerámica
- Elementos de Terrazo

**Misión:** Producir y comercializar artículos y materiales de la construcción para sustentar el desarrollo constructivo del país con una calidad que satisfaga las exigencias del cliente, con bajos costo y resultados económicos satisfactorios que se reviertan en el desarrollo técnico productivo de la empresa, el bienestar de sus trabajadores, preservando el medio ambiente.

**Visión:** Alcanzar el liderazgo en el mercado interno en la producción y comercialización de materiales dedicados a la construcción, manteniendo elevados índices de calidad y bajos costos en las producciones con la profesionalidad requerida y preservando el medio ambiente.

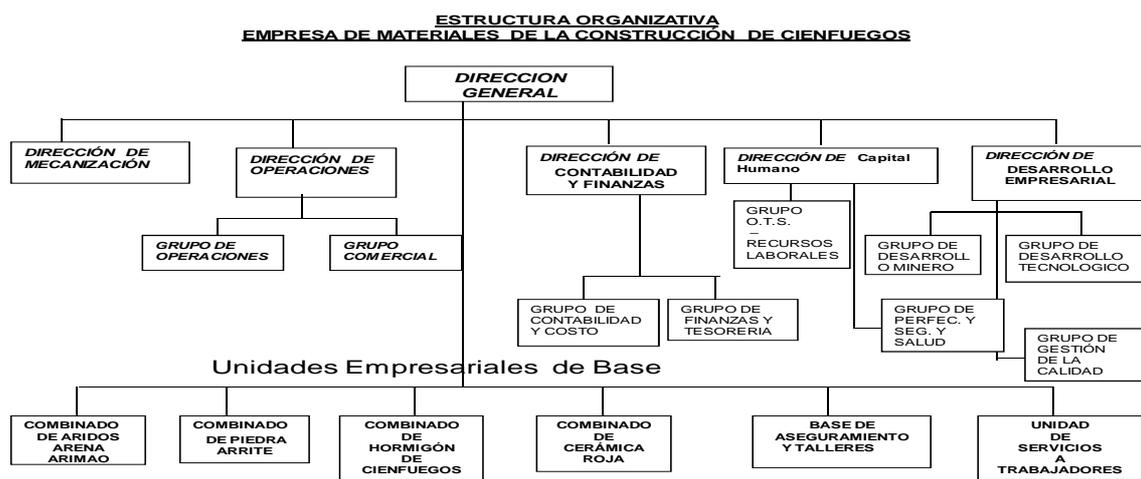
### 2.5.1 Estructura organizativa EMCC y sus Unidades Empresariales de Base.

La EMCC en su estructura organizativa se subdivide en: Dirección General de Empresa, y 6 Unidades Empresariales de Base y Servicios.

- Dirección General de La EMCC
- Unidad Empresarial de Base Áridos
- Unidad Empresarial de Base Hormigón
- Unidad Empresarial de Base Cerámica
- Unidad Empresarial de Base Transporte y talleres

En la empresa trabaja actualmente un total de 617 trabajadores que se distribuyen por las diferentes Unidades Empresariales de Base, Establecimientos y Talleres.

### 2.5.2 Organigrama Empresa Materiales de la Construcción Cienfuegos



### 2.5.3 Centros de producción de las Unidades Empresariales de Base.

CENTROS	ACTIVIDAD FUNDAMENTAL	ESTADO	UBICACION
Molino de Piedra Arriete	Producción de áridos	ACTIVO	Municipio. Palmira
Lavadora Arimao Iy II	Producción de áridos	ACTIVO	Municipio. Cumanayagua

Molino de Piedra Los 500	Producción de Áridos	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Lavadora. El Canal	Producción de áridos	ACTIVO	Municipio. Cumanayagua
Fabrica. de Bloques Guaos	Producción de bloques de Hormigón	ACTIVO	Municipio. Cumanayagua
<i>Fabrica de Terrazos y Celosías</i>	Producción de Celosías, y Terrazos	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
<i>Fabrica de Mosaicos</i>	Producción de Mosaicos	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
<i>Fabrica Baldosa</i>	Producción de Baldosas	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Taller Carpintería	Producción de elementos de Madera	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Combinado Cerámica Roja	Producción de bloques cerámicos.	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Tejar de Simpatía	Producción de bloque macizos de cerámica	ACTIVO.	Municipio Abreus
Establecimiento Bloques Cienfuegos	Producción de Bloques de Hormigón	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Fabrica Mortero Cola	Producción de Morteros secos	ACTIVO	Municipio Cienfuegos
Taller de Equipos no tecnológicos	Reparación de Equipos No	ACTIVO	Municipio. Cumanayagua

	Tecnológicos		
Taller de equipos tecnológicos	Reparación de Equipos Tecnológicos.	ACTIVO	Municipio. Cienfuegos

## 2.6 Unidad Empresarial de Base Arena Cienfuegos.

La Unidad Empresarial de Base Arena, (inicialmente Combinado de Canteras Piedra-Arena), ubicada en Carretera Guaos Km surge por la reorganización de las actividades productivas y la necesidad de la reestructuración directiva en la industria en respuesta a los programas del gobierno, agrupando por objeto social los centros productivos y ubicación territorial.

Unidad Empresarial de Base Arena Cienfuegos tiene tres centros de producción subordinados a la dirección general de la UEB.

1. Establecimiento Fabrica de Bloques Guaos.
2. Establecimiento planta lavadora de arena Arimao.
3. Establecimiento planta lavadora de Arena El Canal, que será el objeto de estudio de la presente investigación y cuyo objeto social es: Producir y comercializar arena natural y beneficiada de minas, que cumplan con las normas establecidas.

## 2.6.1 Organigrama Unidad Empresarial de Base Arena Cienfuegos.



## 2.6.2 Tecnología actual de beneficio de arena en la provincia Cienfuegos.

Cienfuegos es una provincia que su yacimiento está compuesto por granodioritas, encontrándose este tipo de roca bordeando el macizo del Escambray. La potencia de la granodiorita intemperizada es variable, la potencia de la corteza de intemperismo oscila entre 5 y 13.5 m. Por lo anteriormente expuesto es considerada en el territorio nacional una de las mejores en calidad del árido fino.

La tecnología de beneficio de arena existente en la provincia Cienfuegos, es de procedencia CAME, explotadas ambas con una capacidad de producción acorde con el cálculo de reserva realizado con el planímetro PLANIK 6-Tamaya Japón No.002661 confeccionado para garantizar la producción de arena beneficiada con clasificación final para obtener granulometría de 5mm hasta 0.15mm.

En la actualidad ambas plantas su volumen de producción está por debajo de su capacidad de diseño inicial. Estas Plantas fueron montadas en los finales de la década del 70 e inicio de los 80. Su estructura y diseño inicial ha sido modificado por no existir piezas y equipos complementarios para su mantenimiento y reparación, por ello se ha recurrido al trabajo y cooperación de un grupo de innovadores, y a la brigada de mantenimiento y reparación de equipos tecnológicos de la industria así como soluciones con complementos de plantas

desmanteladas en otras provincias, lo que hace posible que estén en explotación. La planta lavadora El Canal esta ubicada en el Municipio Cumanayagua, señalada en el mapa de la provincia.



Fig. 5- Yacimientos de arena de la provincia Cienfuegos.

### **2.7 Establecimiento planta lavadora de arena El Canal.**

La Planta Lavadora de Arena El Canal es un Establecimiento de la Unidad Empresarial de Base Arena. Ésta entidad surge en el mes de abril del año 1986 por la creciente necesidad de áridos para la construcción, iniciando con una plantilla de 22 trabajadores y con capacidad para realizar una producción promedio  $90000\text{m}^3$  ANUAL, en la actualidad su productividad ha disminuido y produce promedio  $70000\text{m}^3$  anual. Esta entidad siempre ha pertenecido a la Empresa de Materiales de Construcción. Sus instalaciones ocupan un área de 2 Ha y cuenta con 10 objetos de obra, mostrado en la figura 6, esquema de la planta.

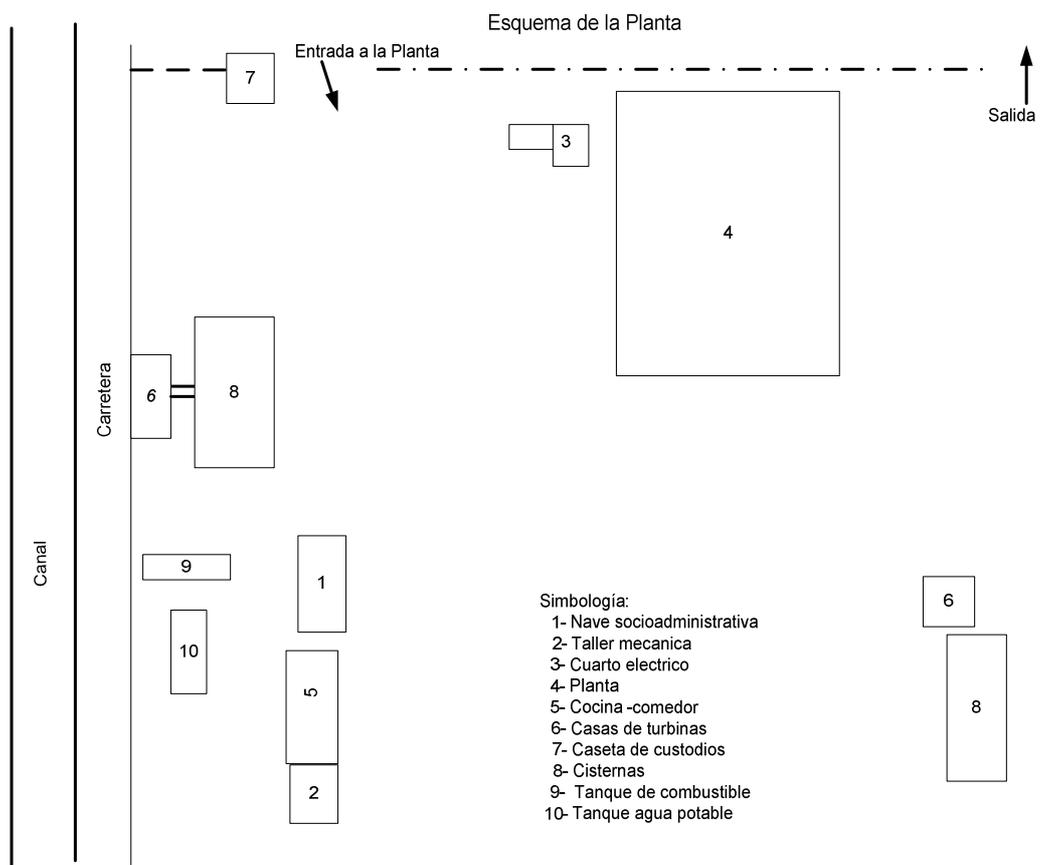


Fig. 6- Esquema de la planta.

La entidad cuenta, con 31 trabajadores, 3 de los cuales son mujeres, y están estructurados según se muestra en la figura 7.

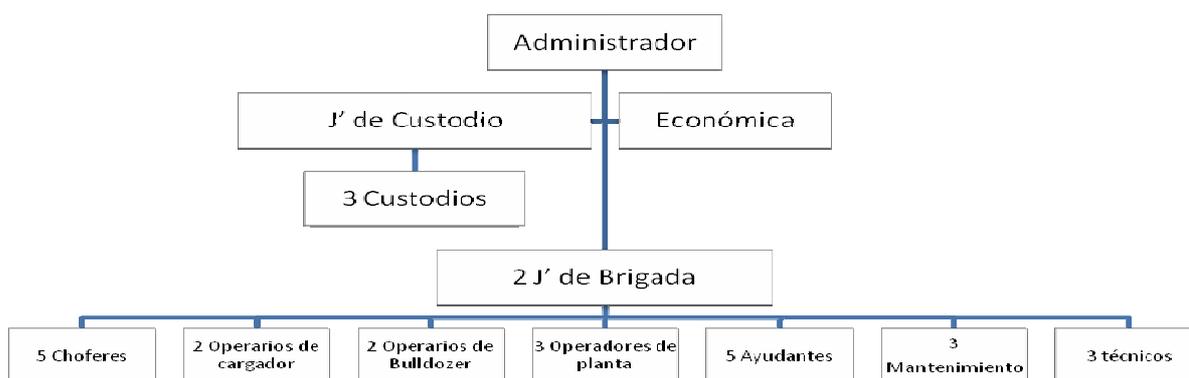


Fig. 7-. Organigrama Planta Lavadora de Arena "El Canal".

### **2.7.1 Localización, condiciones naturales y socioeconómicas del entorno donde está situada la entidad.**

#### **2.7.2 Localización.**

La entidad se localiza a una distancia de 2.5 km al Norte de la ciudad de Cumanayagua por la carretera que enlaza Cumanayagua con el poblado de Potrerillo, se ubica en las coordenadas 261932 y 581275 según el sistema Lambert, la instalación limita por el **Norte** con terrenos pertenecientes a la Empresa pecuaria El Tablón, por el **Este** con la carretera Cumanayagua Potrerillo, al **Sur** con el canal Paso Bonito Cruces y al **Oeste** con los terrenos de la Empresa Pecuaria El Tablón, señalado en el mapa anterior.

El relieve es ondulado, representado por el valle del río Arimao, las líneas de drenaje fluyen de Norte a Sur hacia la cuenca hidrográfica de mayor importancia, el río antes mencionado.

#### **2.7.3 Vegetación.**

La Vegetación del área está conformada por árboles aislados representados por, Leucaenas, Algarrobos, Guásimas, Flamboyanes, agrupaciones arbustivas predominantemente espinosas (Marabú, Aroma, Weiler), algunos frutales, Cítricos y Viandas, también existen planta acuáticas, el resto está compuesto por pastos espontáneos.

#### **2.7.4 Suelos.**

La instalación se encuentra ubicada sobre los llamados granitoides de Manicaragua, compuestos por una franja de rocas granodioríticas de edad cretácica que debido a la corteza de intemperismo que posee, han dado lugar a estos yacimientos de arenas silíceas, estas arenas tienen contenido arcilloso y aparecen minerales como feldespatos sódicos y potásicos así como micas, los minerales metálicos más representados son Fe, Mo, Au, aunque en concentraciones pequeñas, según datos aportados por estudios anteriores. .

Desde el punto de vista agrícola estos suelos se catalogan como categoría III, aptos para la cría de ganado fundamentalmente. Luego de la explotación minera los suelos quedan sin mucha fertilidad para el cultivo agrícola, como se muestra en la figura 8.



Fig.8- Estado del suelo después de su explotación.

### **2.8 Desempeño básico de la Planta.**

La planta esta diseñada por el tipo de tecnología de tratamiento, para el lavado de arena natural (materia prima extraída del yacimiento), y obtener un producto resultante (arena beneficiada) con fracciones entre 5mm – 0.15 mm.

La tecnología de lavado de arena esta basada en el principio de la decantación con tornillos como mecanismo de arrastre, presentado como problema principal que cada tamaño de partícula de arena (0 – 5mm), se decanta a velocidad diferente en dependencia de su tamaño (Las mayores van al fondo con mayor rapidez que las menores), y se producen velocidades diferentes de decantación. La velocidad de rebose de estos equipos decantadores siempre es superior a la velocidad de decantación deseada, Esto produce una evacuación de sólidos con la corriente de agua y la pérdida de los tamaños entre 300 y 500 micras, lo cual se considera normal en este tipo de tecnología.

Para conseguir un efecto de lavado adecuado a las normas establecidas por el sistema de calidad, se utilizan volúmenes elevados de agua, lo que provoca perdida en sus reboses de fracciones valiosas de arena, que por su acumulación representan gran cantidad de m<sup>3</sup> y por su aportación significa mejora en la calidad de la misma (ausencia de fino < 0.15mm), lo que hace que halla una perdida del 30% del total de la arena que entra al proceso de beneficio. Representado en el diagrama de la Fig. 9.

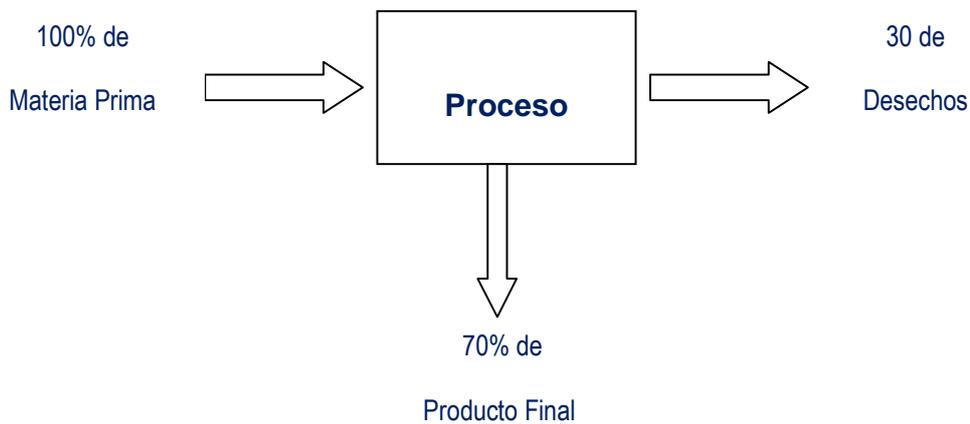


Fig.9- Esquema de entrada y salida de la materia prima.

La planta se mantiene con las 2 líneas de producción como el diseño inicial, no obstante haber sido objeto de cambios por deterioro, en los motores, cintas transportadoras, sustitución del cilindro lavador por zaranda, etc., y su producción esta reducida al 50% de su capacidad inicial, se muestra en la figura 10.



Fig.10- Planta lavadora de Arena El Canal de 2 líneas de producción.

## 2.9 Desempeño ambiental de la entidad.

Por Acuerdo No.2817 de Noviembre de 1994, adoptado por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, estableció que corresponde a los Jefes de los Organismos de la Administración Central del Estado, dictar en el límite de sus facultades y competencia, Reglamentos, Resoluciones y Otras Disposiciones de obligatorio cumplimiento para el sistema del Organismo que dirige.

La Ley No.81 del Medio Ambiente de fecha 11 de Julio de 1997 establece que los Organismos de la Administración Central del Estado que tienen a su cargo la rectoría, control estatal, uso y administración de recursos naturales deben establecer los principios que rigen la política ambiental así como sus objetivos. Conociendo que es función común a todos los Organismo de la Administración Central del Estado, incorporar la dimensión ambiental en las políticas, planes, proyectos y programas de desarrollo y demás acciones que realice el Organismo, en correspondencia con el desarrollo económico y social, por lo antes expuesto el Ministerio de la Construcción dicta la Resolución No.632/98, que norma y rige la Política y la Estrategia Ambiental de la Construcción.

La Empresa Materiales de la Construcción Cienfuegos, sus Unidades Empresariales de Base, Establecimientos y Talleres, cumpliendo lo establecido con las normas y regulaciones medioambientales vigentes en el país, posee la Estrategia de Medio ambiente 2011-2015 certificada por la Unidad de Supervisión del CITMA, la cual incluye Política, Objetivo y Meta, permitiendo accionar y cumplir con los principios que la rigen.

#### **2.10 Definición de política ambiental, objetivos y metas.**

Política: Cumplir con la legislación y normativa ambiental aplicable.

Objetivo: Mitigar o minimizar los impactos ocasionados por el incumplimiento de algunas leyes y normativas medioambientales.

Meta: Cumplir con las legislaciones y normativas ambientales aplicables.

Política: Considerar la gestión ambiental como una de sus principales prioridades.

Objetivo: Incorporar la dimensión ambiental en los procedimientos establecidos en cada puesto de trabajo.

Meta: Implementar en todos los procedimientos de los puestos de trabajo la dimensión ambiental.

Política: Prevenir o minimizar descargas nocivas al agua.

Objetivo: Minimizar la incorporación de residuos en las aguas residuales.

Meta: Reducir los vertimientos de residuos.

Política: reducir la generación de residuos sólidos.

Objetivo: Reciclar todo cuanto sea posible y asegurar un manejo responsable de los residuos peligrosos.

Meta: Reducir la generación de desechos sólidos, logrando la neutralización y disposición final correcta de los desechos peligrosos generados.

Política: Lograr puestos de trabajo libres de peligros y acciones inseguras.

Objetivo: Eliminar todos los riesgos laborales.

Meta: Lograr que los puestos de trabajo cuenten con los medios de protección para su actividad.

Política: Lograr el uso racional de la energía eléctrica en la entidad.

Objetivo: Minimizar el consumo de energía eléctrica.

Meta: Reducir el consumo promedio anual de energía eléctrica.

Política: incorporar la dimensión ambiental en todas las actividades, elevando la conciencia ambiental de todos los trabajadores.

Objetivo: Capacitar y motivar al personal respecto al cuidado y conservación del Medio Ambiente.

Meta: Implementar el programa de Educación Ambiental para satisfacer las necesidades de los trabajadores.

Política: Evaluar periódicamente el cumplimiento de la Política, Objetivos y Metas ambientales.

Objetivo: Lograr un buen desempeño ambiental en la Entidad.

Meta: Alcanzar reconocimiento Ambiental territorio.

Normas jurídicas más significativas afines a la actividad productiva de la Empresa.-

-Ley 81 Medio Ambiente.

- Ley 76 de Minas.

-Ley 201 "Sistema Nacional de Áreas Protegidas".

- Ley 85/98. Ley Forestal.

- Ley 13/77 Ley de Protección e Higiene del Trabajo.

- Decreto -Ley 179/93. De la protección, uso y conservación de los suelos y sus contravenciones.

-Decreto- Ley 138/93. De las aguas Terrestres.

## **2.11- Manejo de Portadores**

### **2.11.1- Manejo del agua.**

En esta instalación el agua potable es suministrada por una cisterna móvil destinada para el acarreo de la misma y almacenada en un tanque situado en rampa, que llega por gravedad a las instalaciones socio administrativas y se obtiene en el municipio Cumanayagua con la empresa de acueducto, a través de un contrato con la misma. El agua utilizada para el proceso productivo es bombeada del canal Paso Bonito Cruces a través de bombas, a la cisterna de almacenamiento con capacidad de 4977m<sup>3</sup>, esta envía por gravedad a una segunda cisterna con capacidad de 3040 m<sup>3</sup>, la que suministra el agua a la planta a través de bombas. En la planta no existe metro contador de agua, por lo que para el pago del consumo de la misma esta conciliado un contrato lineal con INRH, quien factura el cobro según lo estipulado por la resolución 58/95 que norma: Por cada m<sup>3</sup> de arena beneficiada producida – 3.3m<sup>3</sup> de agua consumida (por no existir sistema de recirculación interna) y de total del agua consumida el 80% para el agua de vertimiento. Las tarifas aplicadas son:

Consumo agua para la producción----0.15 c.

Agua vertimiento----- 0.02c.

La planta consume volúmenes importantes de agua, no existe sistema de regulación de entrada del volumen de agua para las líneas por separado y además el sistema de tecnología descubierta hace que las duchas de la zaranda lavadora-clasificadora viertan al patio, las fugas por sellaje y malas prácticas operacionales.

### **2.11.2- Manejo de la energía.**

La energía es suministrada por la Red de Distribución Nacional, y es asignada una cantidad a consumir según plan de producción. El centro tiene un metro contador con el sistema de tarifa aplicado al sector empresarial (consumo en el horario diurno, horario pico, y en la madrugada). Es importante destacar que no existe registro y control del consumo y gasto por procesos, cuando es conocido por datos técnicos y estudio que el bombeo de agua consume más que la planta.

Relacionado con la energía a partir de combustibles fósiles, no existen deterioros de las cantidades planificadas, pero no se abordan los gastos por actividades (rehabilitación del yacimiento, transporte, ventas, limpieza laguna sedimentación etc.), de manera que se tiene un control global de la cifra de gastos.

### **2.12- Calidad del aire y ruido.**

El proceso productivo es húmedo, la calidad del aire en la zona se ve afectada, principalmente en los meses de poca lluvia, por el movimiento constante de vehículos automotores, incrementado por la acción del viento lo cual hace que existan concentraciones de polvo en la atmósfera de los alrededores de la instalación.

El ruido generado por las operaciones es muy puntual y está dentro de los parámetros permisibles.

### **2.13- Manejo de residuos.**

#### **2.13.1 Residuales líquidos.**

Los residuales líquidos generados del proceso productivo son evacuados a través de una canal que vierte a la primera laguna de sedimentación, donde se depositan las aguas residuales y el sólido sedimentable (arena fina), se decanta y sedimenta, el agua vierte por reboso a la segunda laguna, la que posee un sistema (Sifón) que vierten al arrollo Cruces (Cuerpo receptor).

El proceso de beneficio con lavadores convencionales genera excesivo contenido de sólidos en las aguas residuales lo que hace insostenible el tratamiento de las lagunas de sedimentación, a un costo operativo muy alto. La excesiva salida de agua impide la actuación correcta en la etapa de sedimentación, provocando saturación de las lagunas con gran rapidez y que en el reboso se produzca arrastre de sólidos.

#### **2.13.2 Residuos sólidos.**

Durante el proceso de lavado se generan residuos sólidos. Estos son los materiales desechados por los tamices, debido a que tienen tamaños superiores al diámetro de los orificios de éstos (Desperdicio). Dichos residuos tienen como uso fundamental el restablecimiento de las condiciones naturales en las áreas excavadas y el material fino (arcillas y coloides) se depositan en las lagunas de sedimentación creada al efecto, pero que estos son superiores a la capacidad de

almacenaje. Debido a la acumulación de tales sedimentos se requiere de una limpieza o dragado así como buscar una solución definitiva a estos materiales.

#### **2.14 Educación, información y capacitación ambiental.**

Existe un programa de educación, información y capacitación ambiental, el cual forma parte de la Estrategia de Medio Ambiente del centro, con un representante el cual rectorea la actividad de conjunto con otros técnicos.

#### **2.15 Percepción de la comunidad circundante y de las autoridades locales de gobierno sobre el desempeño ambiental de la entidad.**

No han existido quejas formales sobre el desempeño ambiental de la entidad, existe un programa de entrega de las áreas explotadas anualmente luego de rehabilitadas a la empresa pecuaria El Tablón.

Este centro es una fuente de empleo en el municipio, proporciona viabilidad, existe una relación de trabajo integrado con la comunidad y otros centros del territorio.

## **Conclusiones Parciales**

1. En la industria arenera cubana prima el proceso de beneficio por vía húmeda.
2. La tecnología instalada data de 30 años y operan al 40% de su capacidad de diseño.
3. Se han instalado 13 planta de hidrociclones en 10 provincias sin un adecuado estudio de la factibilidad de la inversión.
4. La empresa Materiales de Construcción Cienfuegos no realiza cuantificaciones de cantidades y valores de los desperdicios y residuales generados en los procesos productivos.
5. La planta lavadora El Canal desaprovecha el 30 % de la materia prima que recibe.
6. Aunque se cuenta con una estrategia ambiental en la planta, esta no se aplica rigurosamente.
7. No existe una adecuada gestión de los portadores energéticos y el agua.

### Capítulo 3. Evaluación de PML en la Planta.

#### 3.1 Evaluación de PML en la Planta Lavadora de Arena El Canal.

La evaluación del proceso de beneficio en la planta es el paso inicial para realizar la implementación de la P+L, al efectuar el reconocimiento de las distintas etapas del proceso productivo se identificaron fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, también de este análisis se obtiene la situación general del centro, los puntos críticos en el manejo de la energía, del agua y materia prima así como sus efectos financieros y ambientales y las posibles oportunidades y recomendaciones de mejora.

Para la Evaluación de PML se deben realizar acciones de los pasos y tareas señalados en el siguiente ciclo mostrado en la figura 3.1.

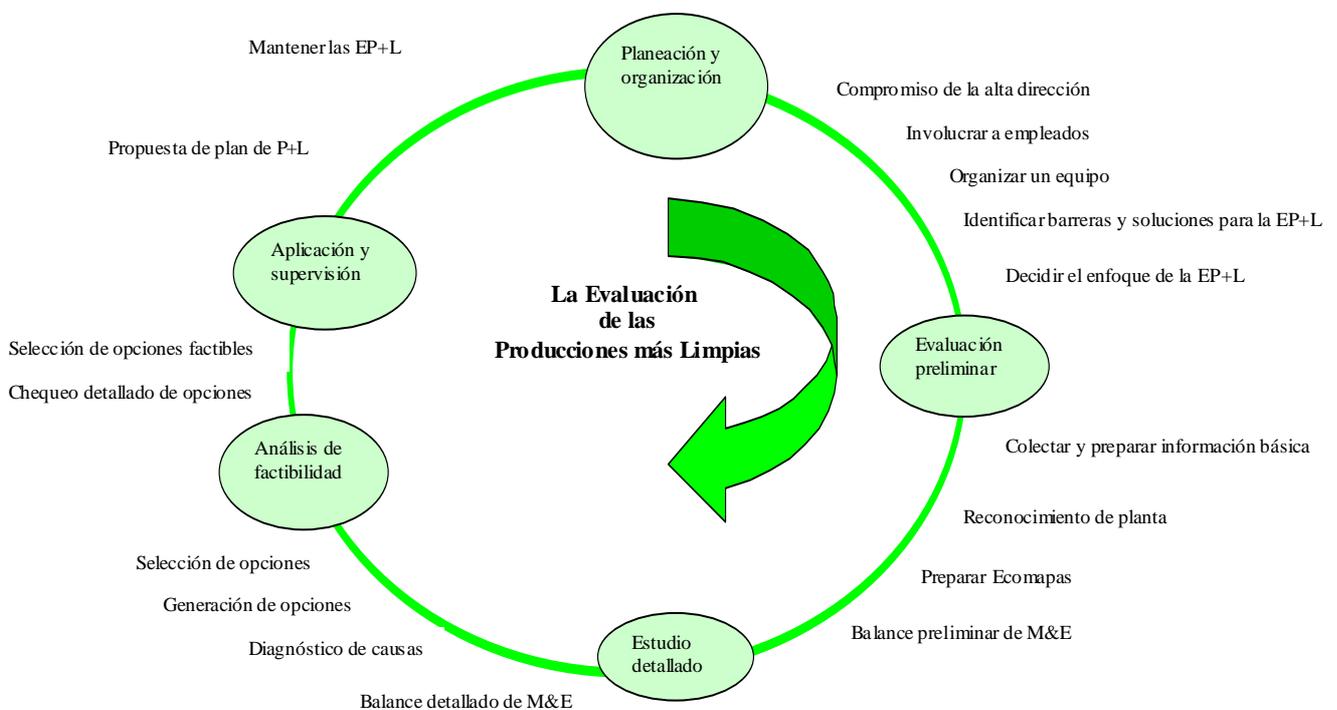


Fig. 3.1 Esquema del proceso de Evaluación de PML.

## **3.2 Planificación y organización para el inicio de EP+L en la planta lavadora de arena El Canal.**

### **3.2.1 Compromiso de la dirección.**

Se establece un compromiso conjunto Empresa-Dirección Unidad Empresarial de Base – Establecimiento, donde está ubicada la planta, teniendo como base los beneficios ambientales, económicos, sociales, y la necesidad e interés de incluir el componente de P+L como un elemento priorizado en el desempeño ambiental de la industria, haciendo formal la decisión con la preparación de un plan de trabajo, acción y medidas donde se definen los objetivos que se persiguen con la EP+L y todas las tareas a realizar, los responsables y los resultados que se esperan obtener. Para realizar el estudio se forma un equipo y se determina la disponibilidad de los recursos requeridos y necesarios, así como acatar los resultados de la evaluación.

### **3.2.2 Involucrar a los empleados.**

Conociendo que para la obtención de resultados exitoso en la EP+L, es imprescindible la colaboración del personal, se involucra a todos los trabajadores (Directivos, técnicos, obreros y servicio), y se les informa del programa ,lo que se espera y por qué se hace, buscando y valorando sus aporte, apoyo y responsabilidad individual algo que es básico para el proyecto.

### **3.2.3 Organización del equipo de Producciones más Limpias.**

La EP+L son un trabajo de equipo, organizándose uno dirigido y apoyado por la dirección general y vicedirecciones de la Empresa y UEB, también por consultores o instituciones que están involucrados o afectados por la actividad de la industria, los clientes o consumidores y la comunidad.

El equipo es integrado por 15 miembros con conocimientos, experiencias y las competencias necesarias, para realizar un análisis de las prácticas de producciones actuales, también posee la creatividad para explorar, desarrollar y de ser necesario hacer modificaciones además de evaluar los obstáculos existentes en el proceso, enfrentarlos, valorarlos y determinar los métodos a seguir.

### **3.2.4 Identificación de impedimentos y soluciones a la EP+L en la planta.**

El equipo realiza la identificación de las barreras que se oponen al desarrollo de la evaluación.

- Documentación técnica muy escasa y difícil acceso a la información.
- Insuficiente educación ambiental de los trabajadores.
- Insuficientes recursos materiales.
- La política de residuos está incompleta.
- Tecnología con más de 30 años de explotación.
- Ausencia de metro contadores para el consumo de agua.
- Ausencia de metro contador de electricidad en los procesos.
- Generación de residuales sólidos sin destino final.

Como parte del programa para el desarrollo de soluciones en la planta se prioriza:

- Búsqueda de documentación en centros especializados u otras industrias del ministerio, entrevistas a trabajadores fundadores y de experiencia en el centro, personas que de una forma u otra han estado relacionadas con la actividad productiva de la industria dentro y fuera del territorio.
- Identificación de directivos y trabajadores con las medidas de solución a los problemas ambientales existentes y la capacitación a estos a través de un programa de educación y cultura medioambiental.
- Caracterizar los residuales y establecer planes de manejo y destino final de los mismos.
- Cumplir el plan de mantenimiento y reparaciones, no efectuar estos solo por roturas, y mejorar la gestión y las prácticas de operación de forma que no ocasionen vertimientos y pérdidas en el proceso productivo.
- Gestionar con la Empresa de Recursos Hidráulicos la Instalación de metro contador de agua en el proceso de la planta.
- Tratamiento y rehúso de las aguas residuales.
- Independizar consumo de energía en el proceso productivo y otras unidades de proceso y de otras áreas.

- Reincorporar el residual como producto o para ser usado como material de insumo a otro proceso de producción.

### **3.2.5 Enfoque de la EP+L.**

**El alcance:** Incluye todo el proceso de beneficio de la arena.

**El Énfasis:** Todos los materiales e insumos que entran en el proceso de beneficio del mineral y especialmente el agua.

Los objetivos que persigue la industria con la realización de la evaluación de P+L en este centro productivo son:

1. Evaluar la forma de incrementar el aprovechamiento de la arena extraída del yacimiento, alargando la vida útil del mismo.
2. Evaluar el consumo total de agua en el proceso productivo y unidades del proceso.
3. Evaluar el consumo total de electricidad en el proceso productivo y unidades del proceso.
4. Examinar las soluciones ambientales posibles.
5. Consolidar la motivación al trabajo ambiental en el centro.
6. Contribuir al cumplimiento de las legislaciones ambientales.

### **3.3 Evaluación Preliminar.**

En la etapa de evaluación preliminar se realiza la búsqueda y recolección de datos e información existente de los procesos y operaciones que se desarrollan en la planta, y se identifican las entradas, salidas, productos, y las corrientes de desperdicios o residuos con posibilidades de ser reducidas o eliminadas.

Para la identificación de las entradas y las salidas en el proceso tecnológico se establecen tres tareas importantes, en las que se realizan, valoraciones, determinaciones, y observaciones, para realizar el estudio, estableciendo un orden:

- Colectar y preparar la información básica.
- Reconocimiento de la planta.
- Balance preliminar de materiales y energía.

### **3.3.1 Recolección y preparación de toda la información básica del proceso tecnológico.**

Para obtener la información básica y necesaria en la EP+L del proceso tecnológico se siguieron los siguientes pasos:

1. Identificación de las entradas de materia prima, agua y energía en el proceso productivo.
2. Identificación de las salidas del proceso productivo.
3. Identificación de los destinos finales.
4. Determinación de los niveles de recirculación interna, reciclado externo y reutilización de los residuos.
5. Identificación de segregación de las corrientes de desperdicios.

### **3.3.2 Entrada de materia prima, agua y energía en el proceso productivo.**

En la recolección de la información básica se toman las entradas al proceso productivo, de un año, tomando como referencia el año 2010 para el estudio, desglosando los datos por meses, mostrado en tabla 3.1

### **3.3.3 Salidas del proceso productivo.**

En la recolección de los datos de las salidas del proceso se valoran las cantidades a partir de la entrada (producción de arena beneficiada, consumo de agua, electricidad, diesel y los residuos) desglosados en la tabla 3.2.

Tabla 3.1 Entrada de Materia Prima, Agua y Energía en el proceso productivo en el año 2010.

Elementos	U/M	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic	Total Anual
<b>Materia P.</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	8900	9120	9316	10008	10560	10208	8320	8096	8056	8848	9952	10800	112184
<b>Agua</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	20559	19114	20477	23126	23169	23140	18285	18173	18605	21014	23252	23216	252130
<b>Electricidad</b>	<b>kw</b>	14048	11480	13960	12923	13005	12942	13019	14214	13905	12381	12957	10890	155724
<b>Diesel</b>	<b>Lts</b>	3000	3175	3200	3424	3565	3657	3930	4700	3453	3560	3835	4000	43499

Tabla 3. 2 Salidas del proceso productivo en el año 2010.

Elementos	U/M	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic	Total Anual
<b>Arena beneficiada</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	6230	5792	6205	7008	7021	7012	5541	5507	5638	6368	7046	7035	76403
<b>Desperdicios</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	267	213	205	311	312	311	183	182	250	351	388	312	3285
<b>Residuales</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	2403	3115	2906	2689	3227	2885	2596	2407	2168	2129	2518	3453	32496
<b>Agua</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	16447	15291	16381	18501	18535	18512	14628	14538	14884	16812	18601	18572	201704
<b>Electricidad</b>	<b>kw</b>	14048	11480	13960	12923	13005	12942	13019	14214	13905	12381	12957	10890	155724
<b>Diesel</b>	<b>Lts</b>	3000	3175	3200	3424	3565	3657	3930	4700	3453	3560	3835	4000	43499

### 3.3.1.1 Destino final de los residuales del proceso productivo.

El proceso de beneficio de arena con lavadores convencionales genera gran cantidad de residuos líquidos y sólidos, la planta de beneficio no posee sistemas para la recuperación o recirculación de los mismos, para cumplir con lo legislado y establecido ambientalmente por los organismos posee destinos finales adecuados al proceso.

**Materia Prima:** El desperdicio obtenido en la zaranda clasificadora (granulometría > 5mm) es depositado en patio de acopio y reintegrado al yacimiento formando parte de la rehabilitación del mismo.

El sólido sedimentable y en suspensión conjuntamente con el agua residual que se vierte en el proceso, es enviado a lagunas de sedimentación, donde se acumula gran cantidad del mismo, saturando con rapidez la capacidad de las mismas, lo que requiere limpieza y drenaje con una frecuencia entre 10 a 15 días.

**Agua:** El agua consumida en el proceso, al no ser recirculada se vierte como se explico anteriormente a las lagunas de sedimentación. Este proceso es monitoreado por el CITMA y Recursos Hidráulicos, quienes supervisan el cumplimiento de las normas y parámetros permisibles establecidos en la norma cubana (NC 27-1999. Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y alcantarillado) según el cuerpo receptor, y que establece debe existir un tratamiento primario y secundario capaz de mantener los parámetros siguientes a niveles no superiores a lo establecido por la norma, recogido en el cuadro siguiente.

<b>Parámetros</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO 5</b>	<b>S.Sed.</b>	<b>CT</b>	<b>CF</b>
	<b>Mg/l</b>	<b>Mg/l</b>	<b>MI/l</b>	<b>NMP/100ml</b>	<b>NMP/100ml</b>
Agua	70mg// l	30mg/l	1ml/l	1000NMP/100 ml	200NMP/100m l

Cuadro 3. 1 Parámetros permisibles para vertimiento de aguas residuales.

### 3.3.1.2 Niveles de recirculación interna, reciclado externo y reutilización.

Actualmente solo es reutilizado el desperdicio, que se reincorpora al suelo del yacimiento explotado, según lo establecido en el capítulo V, del proyecto de

desarrollo y explotación minero, en el caso del agua residual no existe un sistema de tratamiento para la recirculación y el sólido en suspensión vertido se sedimenta en las lagunas, lo que provoca la pérdida del material fino, y el excesivo consumo de agua.

### **3.3.4 Diagrama de flujo del proceso de beneficio de la arena.**

Para la elaboración del diagrama de flujo son identificadas todas las entradas al proceso tecnológico, y el comportamiento de las mismas en las diferentes unidades, por ello se analizan por separado la corriente de cada una de las entradas y salidas, donde y en que etapa del proceso se generan desperdicios y cuales son las fuentes. Identificándolo en el diagrama de flujo del proceso de beneficio mostrado a continuación.

#### **3.3.4.1 Diagrama de flujo del proceso de beneficio (DFP).**

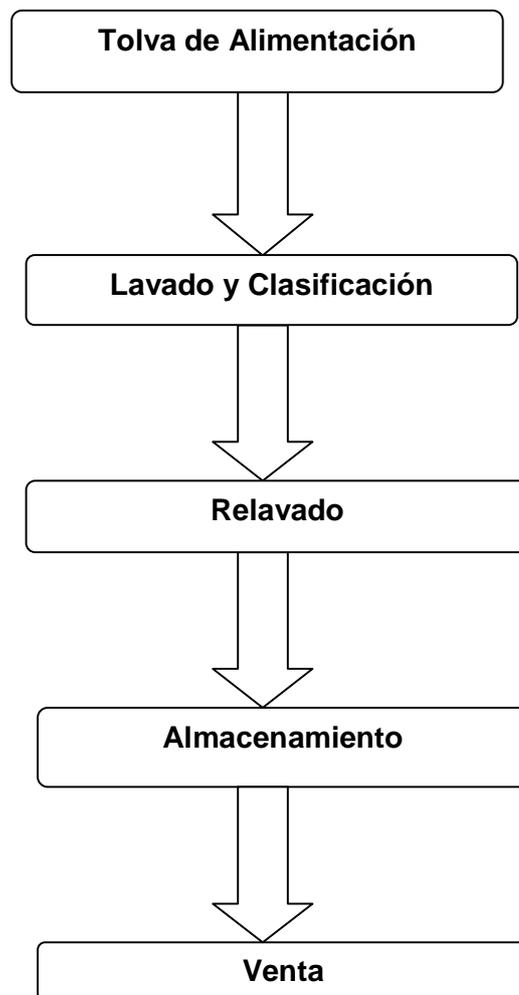


Fig.3.2- Diagrama de flujo del proceso de beneficio de arena.

### **3.4 Reconocimiento de la Planta.**

La planta por los años de explotación, ha sido objeto de modificaciones, en su diseño inicial el sistema de lavado y clasificación granulométrica se realizaba en el cilindro lavador, contaba con sistema de trituración y reutilización de agua, al deteriorarse y no funcionar las partes mencionadas y ante la imposibilidad de adquirir las piezas y equipos para su mantenimiento y reparación, se sustituyen por la zaranda lavadora y tornillo lavador. Por los cambios y variaciones en la tecnología del proceso, la carta tecnológica o de ruta del fabricante no se puede utilizar como documento específico de consulta.

En el reconocimiento se utiliza una lista de chequeo elaborada con preguntas, comprobación de datos y operaciones del proceso, que pueden obtenerse en intercambio con los operarios, los que por su experiencia, conocimientos y práctica pueden aportar, y para la verificación en el recorrido de informaciones tanto visual como práctica sobre operaciones auxiliares del proceso, detalles de secuencias operacionales claves, que no están registradas o valoradas, y las encontradas están de forma general para todo el proceso.

### **3.5 Balance preliminar de materiales y energía.**

En el balance preliminar de materiales y energía se utilizan los datos que se obtuvieron de los registros de controles de producción, consumos, balance económico, fichas de costo de producto, tarifas y facturas, registro de pagos, estados de cuentas del Establecimiento, Dirección General de la Unidad Empresarial de Base y de la Dirección General de la Empresa.

Como los datos de los consumos y gastos están mayormente de forma general, es decir no se encuentran separados por procesos y unidades de procesos, se utilizan datos secundarios obtenidos durante el reconocimiento de la planta, con mediciones realizadas en etapas del proceso, que apoyan el trabajo.

#### **3.5.1 Balance de Masa.**

Para el balance de masa se toma la arena, materia prima del proceso medida en m<sup>3</sup> y en función de la cual están los demás recursos. La extracción de arena natural y la producción de arena beneficiada del año 2010 son tomadas como

referencia para la obtención de los datos de consumo de agua, electricidad, diesel y los desperdicios generados en el proceso de beneficio de la arena.

Los costos asociados se toman de los valores de cada uno de los elementos.

**Materia prima:** Costo de extracción de la arena según ficha de costo aprobada para comercializar arena natural de minas sin beneficiar (\$4.15) sin margen de utilidad de venta (15%) Resolución 382/ 07-2009.

**Agua:** Tarifa de cobro existente en Recursos Hidráulicos para facturar agua de consumo y agua de vertimiento según Resolución 58/95 de INRH, en procesos productivos sin recuperación o recirculación de agua.

Agua de consumo en el proceso: Total de producción realizada X 3.3m<sup>3</sup> de agua x \$ 0.15. y el agua de vertimiento el 80% del agua consumida x \$ 0.02.

**Electricidad:** Tarifa existente para el sector empresarial según horario de consumo por la Resolución 291/2010, del Ministerio de Finanzas y Precios, la que según consumo agrupa a los consumidores en 12 grupos.

El establecimiento esta clasificado en el tercer grupo (M1-A: Media tensión consumo mayor de 20 horas diarias) y se le aplica las tarifas de cobro según:

Horario Pico----- \$0.0481 X kwh consumidos en el horario pico.

Horario día ----- \$0.0241 X kwh consumidos en la madrugada.

Horario madrugada----\$00161 X kwh consumidos en la madrugada.

**Diesel:** Consumo del equipo (Cargador Daewoo 17Lts/h) X tarifa de cobro según Empresa CUPET (\$1.94 X Lts).

**Producción realizada:** Volumen de arena beneficiada de minas (m<sup>3</sup>) por precio de venta aprobado según ficha de costo (\$12.92).

### 3.5.2 Cantidades y valores anuales de las entradas de materias primas y salidas del proceso.

En la tabla 3.3 se pueden apreciar las entradas de agua y materia prima al proceso en cantidad y valor, hay que señalar que el agua esta dada según la facturación del INRH, que aplica una norma de 3.3 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup> de arena producida, lo que no tiene correspondencia exacta con el consumo real que se mide.

Tabla 3.3 Entradas y valores de materia prima y agua.

Elementos	U/M	Cantidad anual	Valor anual MN
-----------	-----	----------------	----------------

Materia Prima	m <sup>3</sup>	112184	\$465564
Agua	m <sup>3</sup>	252130	\$37820

En la tabla 3.4 se puede apreciar el consumo de electricidad en el funcionamiento de la planta, iluminación, actividades auxiliares y el consumo de diesel que se produce en el acarreo del material.

Tabla 3. 4 Entradas y valores de electricidad y diesel.

Elementos	U/M	Cantidad anual	Valor anual MN
Electricidad	Kw/h	155724	\$29645
Diesel	Lts	43499	\$22185

En la tabla 3.5 se puede apreciar la producción total de arena en el año 2010.

Tabla: 3.5 Producción y valores de arena beneficiada en el año 2010.

Elementos	U/M	Cantidad anual	Valor anual MN
Arena Beneficiada	m <sup>3</sup>	76403	\$987127

En la tabla siguiente se muestra el estimado de desperdicios y agua vertida en el año 2010. Según el reporte oficial de la planta calculado a través de los siguientes indicadores:

El desperdicio grueso se estimó por los registros del departamento de equipos, que controla los viajes de los camiones al yacimiento para el traslado de la materia prima a la planta y la incorporación del desperdicio en las áreas explotadas con la cantidad según capacidad de carga de los camiones (8m<sup>3</sup>) establecido por orden de bloques explotados por hectáreas en el capítulo V del proyecto de explotación.

Tabla 3.6 Estimado de desperdicios y residual.

Elementos	U/M	Cantidad anual	Valor anual MN
Desperdicio y residual.	m <sup>3</sup>	35781	\$462291
Agua (Vertimiento)	m <sup>3</sup>	201704	\$4034

Los materiales existentes en los desperdicios del proceso que de ser separados a través de un sistema de tratamiento podrían ser reutilizados, son el agua y el sólido sedimentable que se vierten en la etapa de clasificación final del producto.

### **3. 6 Caracterización del proceso de beneficio de la arena.**

**El proceso de beneficio de la arena se divide en cuatro etapas:**

- Etapa de entrada de la arena natural a la tolva de alimentación.
- Etapa de proceso de lavado y clasificación preliminar.
- Etapa de proceso de relavado y clasificación final.
- Etapa de proceso del producto terminado y venta.

En la figura 3.3 se muestra un esquema del proceso de lavado de la arena.

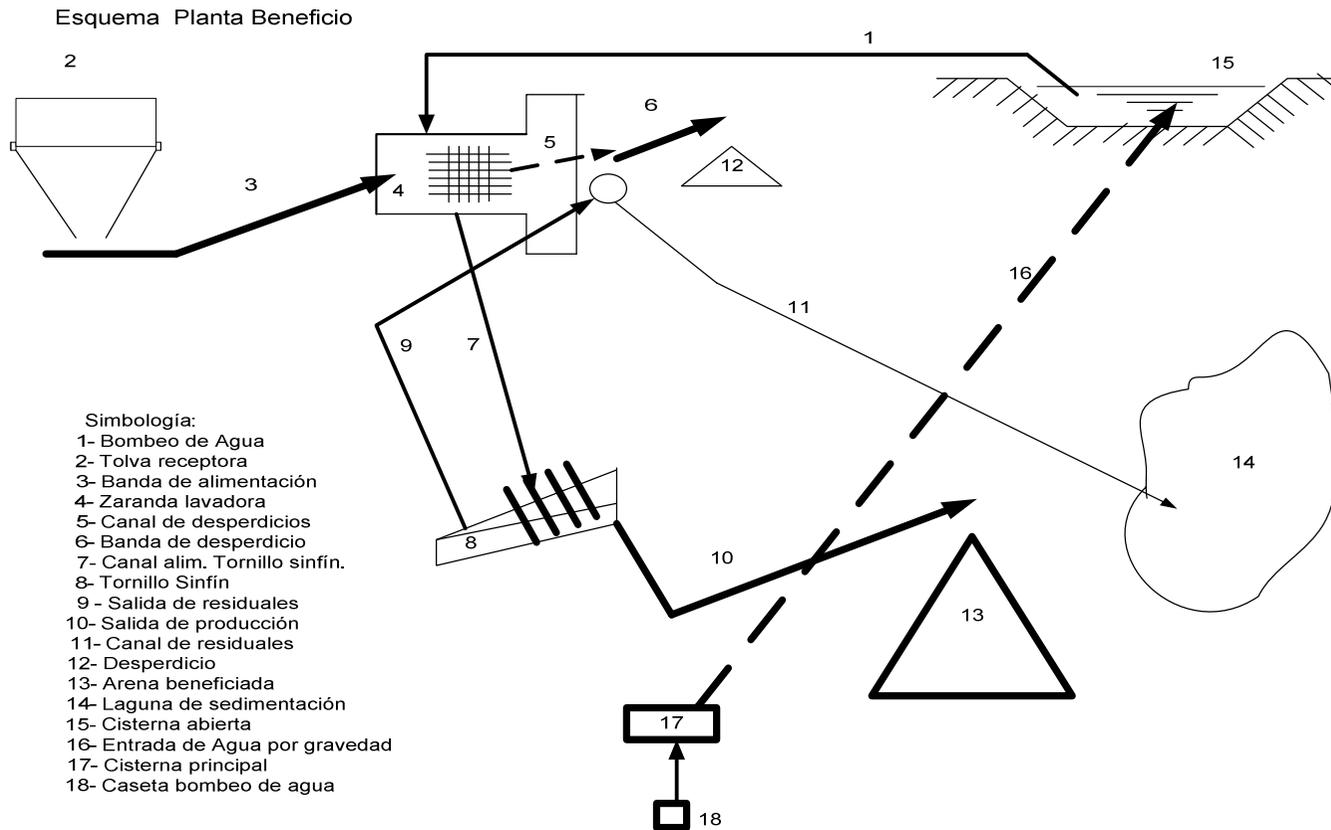


Fig.3.3 Esquema del proceso de lavado de la arena.

### 3.6.1 Etapa de alimentación:

La arena es depositada en la tolva de alimentación en cuya parte superior se encuentra una criba de barras fijas con abertura cuadrada de 200mm, posee una capacidad de 27m<sup>3</sup>, el material alimentado es elevado a través de las bandas transportadoras hasta la zaranda lavadora mostrado en la figura 3.4.



Fig.3.4- Tolvas de alimentación.

### 3.6.2 Etapa de lavado y clasificación preliminar:

El lavado y clasificación preliminar se realiza en la zaranda lavadora, mostrado en la figura siguiente, donde el agua llega en forma de ducha a presión permitiendo el lavado y cernido de la arena a través del paño existente, donde inicialmente la fracción superior a 5mm es separada y pasa a través de un transportador de banda o cinta transportadora como desperdicio enviándola hasta el área del patio de acopio, el material cernido con granulometría menor que 5mm pasa por una canal mezclado con el agua al tornillo lavador. En la figura siguiente se muestra la zaranda clasificadora con la ducha de lavado. Figura 3.5.



Fig. 3.5- Zaranda de lavado y clasificación preliminar.

### **3.6.3 Etapa de relavado y clasificación final.**

En el relavado el agua conjuntamente con el material cernido que llega a través de la canal al tornillo clasificador lavador de espiral (tornillo sin fin) por medio del movimiento de rotación y avance se produce el lavado y separación granulométrica en medio hidráulico, obteniendo como clasificación final (Granulometría 5mm- 0.15mm) , Las fracciones menores son decantadas con el agua residual que sale del tornillo y por una tubería existente en la parte baja salen al canal de salida y esta lo vierte en las lagunas de sedimentación, donde ocurre un proceso de decantación del sólido sedimentable y el agua se vierte por reboso al río (cuerpo receptor). En la figura siguiente se muestra el tornillo lavador .figura 3.6.



Fig. 3.6- Tornillo lavador.

#### 3.6.4 Etapa de almacenamiento y venta:

La fracción obtenida en la clasificación final (Granulometría 5mm- 0.15mm), es depositada en el patio donde se realiza para la certificación de calidad del producto el ensayo final de granulometría según NC-54/256(árido fino para la elaboración de hormigones) y debe cumplirse la norma NC-54/78(condiciones de acopio y operación de despacho para árido fino), mostrado en la figura 3.7.

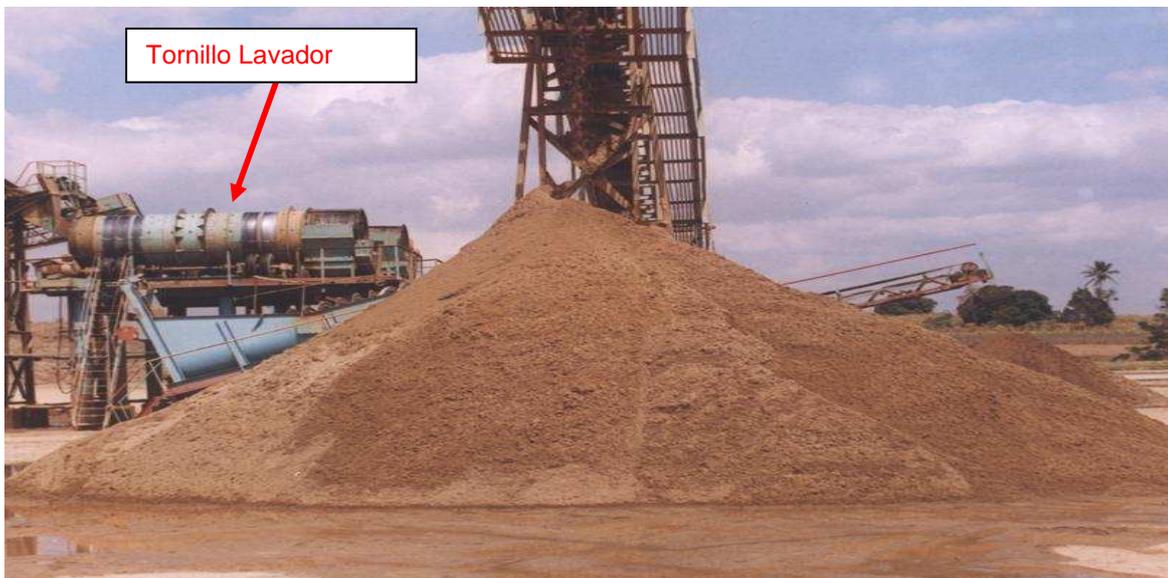


Fig.3.7- Producto final (arena beneficiada)

### 3.7 Diagrama de entradas / salidas en la planta de beneficio.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama cualitativo de entrada y salidas del proceso de beneficio de la arena.

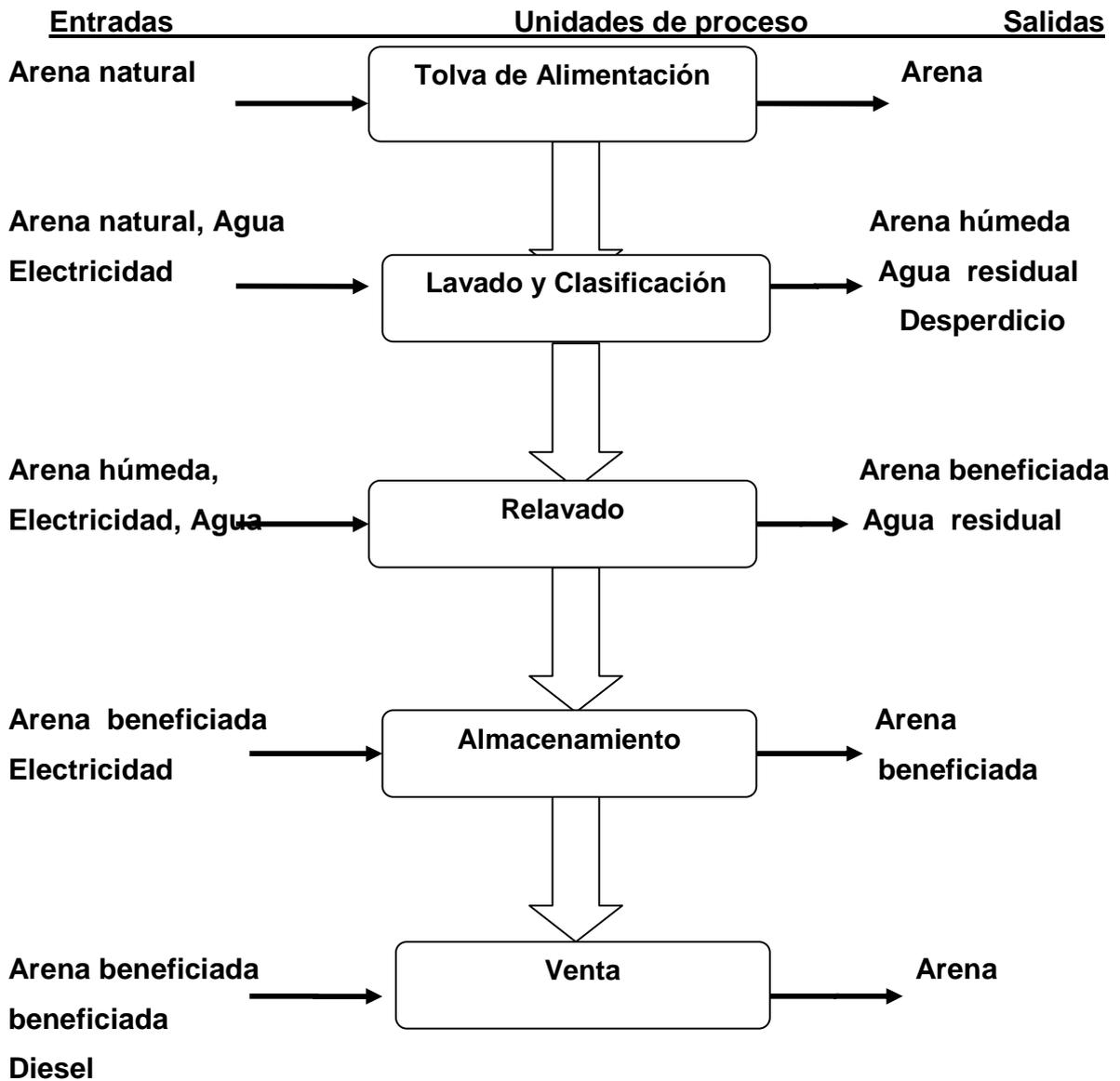


Fig. 3.8 - Diagrama de entradas y salidas

### 3.8 Construcción de los Mapas de Consumo Cualitativo de materia prima, Agua y Energía.

Los mapas de consumo son la representación grafica de cada una de las entradas al proceso de beneficio, muestran la fuente de origen de los desperdicios y residuales por unidades del proceso. Para la construcción de los mapas de consumo cualitativo, se identificaron todas las entradas a través del proceso y las unidades del proceso que consumen una entrada, estos se muestran en las figuras 3.9 a 3.13.

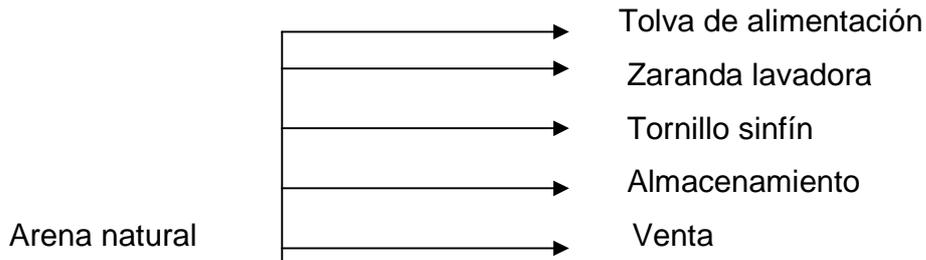


Fig.3.9- Mapa cualitativo de consumo de materia prima.

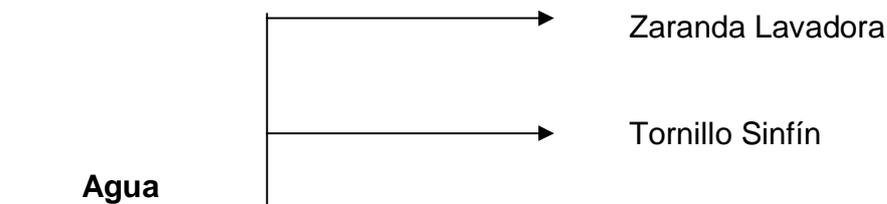


Fig.3.10- Mapa cualitativo de consumo de Agua.

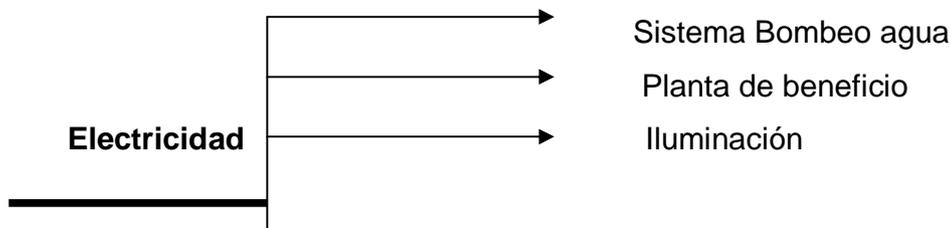


Fig. 3.11- Mapa cualitativo de consumo de Electricidad.

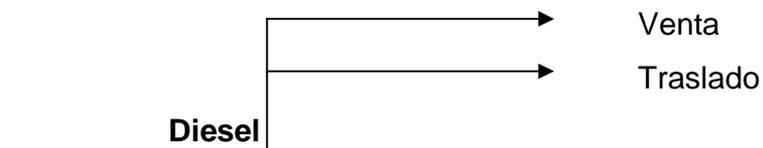


Fig. 3.12- Mapa cualitativo de consumo de Diesel.

### 3.9 Balance de Energía.

Para realizar el balance de energía se siguen los siguientes pasos:

1. Para el consumo de electricidad y combustible usado en el proceso se registran la cantidad consumida en el año 2010, los costos por unidad y costo total para el año, mostrando los flujos de energía entre las áreas.
2. Se estima la proporción de cada portador energético usado en las áreas de operaciones, teniendo como guía el consumo de energía del equipo certificado por el fabricante, la cantidad de equipos y combustible usado, registrado en los expedientes de equipos no tecnológicos.
3. Se toman los consumos de energía eléctrica y diesel del año 2010, junto con el valor asociado a los mismos. Mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 3.7 Consumos y costos asociados de electricidad y diesel.

<b>Portadores</b>	<b>U/M</b>	<b>Cantidad Consumida anual</b>	<b>Valor anual</b>
Electricidad	Kw/h	155724	\$ 29645
Diesel	Lts	43499	\$ 22185

#### 3.9.1 Estimado del consumo de energía y combustible usado en cada área o unidad de proceso.

##### Consumo electricidad:

Para el consumo de la electricidad se revisa la documentación existente en el centro, y la medición de los mismos registrados, observando que los consumos están por horario y existe un registro general de cifra de gastos y costos. Se realiza un estimado por estudios realizados más los registros de los equipos con los datos de consumo del fabricante, obteniéndose lo siguiente:

**Planta de beneficio:** se toman registros con los consumos del horario diurno, se revisan los consumos de los motores instalados en la misma, tiempo de trabajo.

**Sistema de bombeo:** Se toman los consumos de las bombas por separado según los parámetros técnicos de funcionamiento para el cálculo de las horas de trabajo.

Bomba I -----Consumo 30 kw/h-----160 m<sup>3</sup>/h      Horas de bombeo-----1576 horas anual.

Bomba II-----Consumo 22kw/h-----130m³/h                      Horas de bombeo-----1939 horas anual.

Total horas de bombeo-----3515 horas en el año.

Consumo = Total agua entrada a proceso m³ / Capacidad de cada bomba m³/ h X indice de consumo de cada bomba Kw.

**Iluminación:** Registro de consumo por los horarios de 390 kw mensual.

Los consumos y por cientos estimados se relacionan en la tabla siguiente.

Tabla 3.8 Consumo de electricidad por unidades da proceso.

<b>Unidades de Proceso</b>	<b>U/m</b>	<b>Consumo de Electricidad</b>	<b>% en relación Año</b>
<b>Planta de beneficio</b>	Kw/h	61106	39
<b>Bombeo de agua</b>	Kw/h	89938	58
<b>Iluminación</b>	Kw/h	4680	3
<b>TOTAL</b>		155724	

**Diesel:**

Existe una asignación de diesel por consumo según equipo (cargador marca Daewoo 17Lts/h) por horas trabajadas, y sistema de trabajo, pero la asignación para el trabajo en planta esta de forma general, no se separa el consumo en venta y el traslado para el yacimiento y viceversa, al realizar muestreo se obtuvo el consumo por el tiempo de traslado (20 minutos) cada traslado x la cantidad de viajes x consumo)= 163Lts mensuales.

Los consumos anuales y por cientos se relacionan en la tabla siguiente.

Tabla 3.9 Consumo de diesel por unidades de proceso.

<b>Unidades de Proceso</b>	<b>U/M</b>	<b>Consumo de Diesel</b>	<b>% en relación Año</b>
<b>Venta</b>	Lts	41543	96
<b>Traslado</b>	Lts	1956	4
<b>TOTAL</b>	Lts	43499	100

### 3.10 Evaluación detallada de entradas y salidas.

En la tabla de priorización 3.10 se establece una jerarquización según su importancia de las entradas y salidas del proceso.

Tabla.3.10 Selección de entradas y desperdicios en el estudio detallado.

Elementos	Cantidad anual	Costo anual (MN)	Jerarquía	Ambiental
Materia Prima( m <sup>3</sup> )	112184	\$465564	1	2
Agua (m <sup>3</sup> )	252130	\$37820	3	3
Electricidad (kw/h)	155724	\$29645	4	5
Diesel (Lts)	43499	\$22185	6	6
Agua residual(m <sup>3</sup> )	201704	\$4034	5	4
Sólido residual(m <sup>3</sup> )	35781	\$462291	2	1

En esta etapa se realiza una recopilación y evaluación más detallada de los datos del proceso productivo, para identificar oportunidades específicas en la reducción o eliminación de los desperdicios. El estudio detallado se fundamenta con los datos e información de áreas específicas de la evaluación preliminar y se desarrolla un cuadro más detallado de las entradas y salidas seleccionadas en el proceso.

El consumo de diesel no se realiza su estudio, por constituir una parte básica de la actividad del proceso de desarrollo y explotación minera, la cual no forma parte del objeto de estudio de la investigación.

### 3.11 Balance detallado de masa y energía.

El proceso de beneficio de arena, es un proceso sin largas secuencias operacionales, se conocen las etapas básicas del proceso y las unidades donde se generan las salidas de desperdicios y residuales.

#### 3.11.1 Elementos del balance detallado de masa y energía.

- Recolección de datos lo más veraces y precisos posible, para tener el conocimiento completo de los flujos de masa y energía.
- Validación de los datos para descubrir las imprecisiones u omisiones en los datos y obtener datos no registrados de unidades específicas del proceso.
- Balance de masa para identificar datos faltantes o inexactos.

### **3.11.2 Recolección de los datos.**

Se realiza la búsqueda de datos más específicos y determinantes que son necesarios para poder completar los faltantes y poder tener el conocimiento detallado de los flujos de masa y energía en las entradas y salidas seleccionadas. Estos datos son lo más aproximado a las principales entradas y desperdicios.

Al no existir registros de desglose con los datos necesarios para la evaluación, o se registran de forma general, y en otros casos no se registran y valoran, se requirió realizar un estudio con una prueba de operación controlada de la planta y lograr a través de la misma identificar y medir los parámetros del proceso en tiempo real, necesarios para completar datos faltantes, y desagregar valores totales de entradas, y salidas del proceso específicas.

Para realizar la prueba y todo el trabajo necesario que permitiera medir los datos faltantes y valores de tiempo y masa se realizó la coordinación necesaria con la Dirección General de la Empresa, la Unidad Empresarial de Base y con personal directivo, técnico, administrativos y operadores de planta, quienes aportaron ideas, sugerencias que hicieron mas efectivo y real el resultado del trabajo.

### **3.12 Resultados prueba de operación controlada en la planta de beneficio de arena.**

Al no existir en la planta controles intermedios en el proceso, utilizando para sus reportes indicadores establecidos nacionalmente, los cuales no consideran sus particularidades, se realizan varias pruebas de operación controlada de la planta.

Estas consistieron en vaciar y limpiar totalmente la planta y las canales de residuales, llenar la tolva de alimentación a su capacidad máxima de 27 m<sup>3</sup>, y medir la cantidad de arena beneficiada, desperdicio grueso, y determinar mediante el balance la cantidad de sólido residual que se incorpora a la corriente efluente. También se mide el consumo eléctrico en el bombeo y en la planta por separado, y el agua en las duchas de la zaranda lavadora, donde se realiza el lavado y clasificación inicial de la arena.

La prueba de operación controlada se repitió 3 veces, en la tabla 3.11 se muestran los resultados de las mediciones de masa.

Tabla 3. 11 Entrada y salida promedio de arena.

Prueba	Tiempo de duración (Minutos)	Materia prima suministrada (m <sup>3</sup> )	Salida		
			Arena Beneficiada (m <sup>3</sup> )	Desperdicio (Fracción > 5mm) (m <sup>3</sup> )	Sólido incorporado al residual (m <sup>3</sup> )
1	40	27	18	0.6	8.4
2	39	27	19	0.5	7.4
3	38	27	17	0.7	9.3
Promedio	39	27	18	0.6	8.4

Según la prueba de operación controlada la relación arena beneficiada entre materia prima introducida es de 0.67 y el indicador utilizado para los reportes de la planta es 0.7, por lo que se ratifica que con el estado de la tecnología se desaprovecha alrededor del 30% de la materia prima.

**Consumo eléctrico:**

Para iniciar se anotan las lecturas del metro contador y se inicia el proceso de bombeo de agua, culminado el proceso de beneficio se consume como promedio 47 Kw, al no poder separar el consumo eléctrico de la planta de beneficio del de las bombas de agua, por existir un solo metro contador, se midieron por separado el consumo de las bombas y se obtienen los resultados del proceso en el tiempo referido anteriormente y se detallan a continuación.

Total: 47 kw promedio en 39 minutos de proceso.

En la tabla 3.12 se pueden apreciar los resultados de las mediciones del consumo eléctrico en las pruebas de operación controlada, en la que se midió por separado el consumo en el bombeo y en el equipamiento de la planta.

Tabla 3.12 Consumo energía eléctrica:

Prueba No	Consumo Planta (kw/h)	Consumo Bombeo (kw/h)	Total (kw/h)
1	20	23	49
2	21	24	44
3	25	28	48
Promedio	22	25	47

El consumo específico de electricidad en las pruebas de operación controlada fue de 2.61 Kwh./m<sup>3</sup> en total y de 1.22 Kwh./m<sup>3</sup> en la planta, y 1.39 Kwh./m<sup>3</sup> en el bombeo.

**Consumo de agua:**

Para la evaluación del consumo de agua se realizaron los cálculos de agua bombeada, el agua suministrada al proceso a través de las duchas, el volumen y el contenido de agua de la corriente residual.

**Calculo del agua bombeada:**

Capacidad de la bomba----- 160 m<sup>3</sup>/h.

Tiempo de bombeo prueba controlada----- 39´

Agua bombeada-----104 m<sup>3</sup>.

Según el consumo medido el bombeo de cada m<sup>3</sup> de agua consume—0.2 kw.

**Medición del agua que entra al proceso:**

Se hicieron mediciones repetidas en varios orificios de las duchas, con una media de 0.5 lts/seg, las duchas tienen 84 orificios.

Agua entrada a proceso = Flujo de cada orificio x Total orificios x Tiempo de lavado.

Agua entrada a proceso = 0.5 lts/seg x 84 x 60 x 39´ = 98280 lts = 98.28 m<sup>3</sup>

La diferencia entre los 104 m<sup>3</sup> de agua bombeada promedio y los 98.28 m<sup>3</sup> de agua incorporada al lavado inicial se pierde en el proceso, como resultado de salideros y problemas con el sellaje en las bombas.

Con este resultado se puede evaluar que la pérdida por salideros y problemas de sellaje están en el orden de los 6 m<sup>3</sup> en las pruebas de operación controlada, con una pérdida de 1.2 kw/h, o sea casi el 6% del agua bombeada y la energía utilizada para esto se derrocha. Según las mediciones realizadas el 58 % de la electricidad se gasta en bombeo, por lo que en el año 2010 puede estimarse el consumo en bombeo en el orden de 90000 kw y el 6 % representa una pérdida de 5400 kw aproximadamente, con un valor aproximado de \$ 1028, que podrían ahorrarse de arreglarse los salideros.

#### **Determinación del contenido de agua en la corriente residual.**

Para estimar el volumen de agua residual, se tomó una longitud de canal de 10 mts de largo, dejando caer un flotador y fijando el tiempo en segundos que demoró en salvar la distancia de los 10 mts( esta operación se realizó 5 veces, dando como resultado 13 segundos), en la figura 3. 15 se muestra un corte de la sección transversal del canal de agua residual, y las dimensiones y los resultados identificados en la sección.

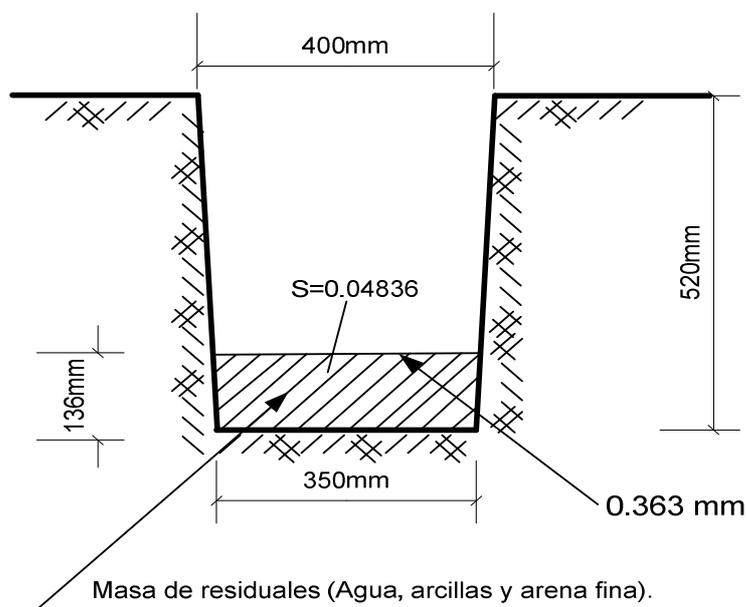


Fig. 3.13 Sección del canal de agua residual.

Datos:

Longitud de la Canal=10 mts

S= 0.04836 mts

Tiempo=13 segundos (recorrido flotador)

$V=S*L= 0.4836 \text{ m}^3$  en 13 segundos

Gasto de corriente residual = $V/13 \text{ seg}$

Gasto de agua residual= $0.0372 \text{ m}^3/\text{seg}$ .(agua , arcilla, arena fina)

Para  $27 \text{ m}^3$  de entrada de materia prima, el proceso de lavado duró una media de 39 minutos, equivale a 2340 segundos.

$2340 \text{ seg} \times 0.0372 \text{ m}^3/\text{seg} = 87.03 \text{ m}^3$  (masa residual de Agua, arcilla y arena fina)

$87.03 \text{ m}^3 - 8.4 \text{ m}^3$  de sólido residual =  $78.63 \text{ m}^3$  de agua residual.

$78.63 \text{ m}^3 + 19.65$  (20% que se queda en la arena beneficiada y desperdicio) es el total del agua que entra al proceso (=  $98.28 \text{ m}^3$ ).

Los resultados se muestran en la tabla 3.13

Tabla 3.13 Entrada y salida de agua a proceso.

Prueba	Volumen de efluente $\text{m}^3$	Sólido incorporado al efluente $\text{m}^3$	Agua en el efluente $\text{m}^3$	Agua contenida en la arena beneficiada y desperdicio $\text{m}^3$
1	83.02	7.6	75.42	18.85
2	92.36	9.7	82.66	20.66
3	85.71	7.9	77.81	19.46
Promedio	87.03	8.4	78.63	19.65

De la tabla se puede concluir que cada  $\text{m}^3$  de arena beneficiada producida tiene incorporado  $1.09 \text{ m}^3$  de agua, siendo el exceso de humedad un problema en la calidad del producto, según los indicadores establecidos el volumen de agua incorporado al producto debe ser como máximo el 20 %, por lo que debe ser  $3.6 \text{ m}^3$  (20 % de  $18 \text{ m}^3$ ), concluyéndose que se están incorporando al proceso  $16.06 \text{ m}^3$  de agua en exceso, en las pruebas de operación controlada que representa el 16% del agua suministrada al proceso y de la energía consumida en el bombeo, en el año 2010 esto representa un sobreconsumo eléctrico de 8447 kw/h en el año.

Esto se puede evitar fácilmente regulando el flujo de agua de las duchas a 25 lts/seg en vez de 30 lts/seg, como se encuentra actualmente. Sumando las perdidas por salideros y por sobresuministro, representan el 25% del agua bombeada.

La relación m<sup>3</sup> de agua consumida entre m<sup>3</sup> de arena beneficiada en la prueba controlada es de 5.46 muy superior a la utilizada por el INRH según Resolución 58/95 que norma para facturar el agua, lo que hace que el sobreconsumo de agua no sea visible en valor, ya que se cobra según tarifa por norma, al no medirse no se toma en cuenta su contenido energético.

En la tabla 3.14 se compara los resultados reportados por la planta según los indicadores establecidos en el año 2010 y los indicadores de la prueba controlada, para una misma entrada de materia prima.

Tabla 3. 14 Comparación de resultados en ambos estudios.

Parámetros	Año 2010	Prueba de operación controlada
Entrada material prima (m <sup>3</sup> )	112184	112184
Arena beneficiada (m <sup>3</sup> )	76403	75163
Desperdicio (m <sup>3</sup> )	3285	2244
Total sólido suspensión (m <sup>3</sup> )	32496	34777
Salida agua residual (80% del agua pagada) m <sup>3</sup>	201704	328312
Agua incorporada al proceso	252130	410390
Consumo electricidad (kw/h)	155724	196175

Los resultados de ambos estudios muestran una variación en los indicadores de comportamiento.

En la producción de arena beneficiada la diferencia esta dada por el contenido de grava y arcilla del bloque del yacimiento que se esta explotando, al igual que el

desperdicio y sólido sedimentable, lo que hace que aumente o disminuya el volumen.

El agua tiene un incremento por el sobreconsumo en el lavado, pérdidas por fugas del agua bombeada, y malas prácticas operacionales en el proceso, de igual forma se produce un aumento en el consumo eléctrico dado fundamentalmente por el sobreconsumo de agua, lo que aumenta el bombeo.

### **3.13 Balance detallado de masa.**

El balance detallado de masa esta basado en el conocimiento de que todo lo que entra al proceso, o unidad de proceso, debe salir ya sea como producto usable o como algún tipo de desperdicio. La meta del estudio de las P+L es que todos los materiales que entran, salgan del proceso como producto deseado. La realidad es que solo parte de los materiales entrados salen como producto para comercializar y la otra parte sale como residuo sólido, liquido y desperdicio.

### **3.14 Diagnóstico de causa.**

Establecidas las entradas y salidas, incluyendo salidas de desperdicios, y residuales y obtenido los datos incompletos basados en el tiempo real, analizadas también las variaciones operacionales ocurridas en el proceso, los costos y cantidades de desperdicios o consumos derivados de las mismas. Es posible identificar las causas que originan estos problemas.

Al comparar los resultados de ambos estudios se evidencia la variación en las entradas y salidas de la arena, generándose un alto por ciento de perdida en la salida, el cual representa el 33 %.promedio con relación a la entrada.

El agua tiene un alto consumo y valor, se consumen 2.16 m<sup>3</sup> por encima de lo normado para beneficiar 1m<sup>3</sup>, al no tener la planta sistema de recirculación, y se paga el agua por concepto de consumo y vertimiento.

El consumo eléctrico es elevado, existe un alto consumo de agua y perdidas antes de la entrada al proceso por lo que la bomba trabaja mas horas para garantizar el abasto al proceso,.

### **3.15 Fuentes de oportunidades para incrementar la eficiencia en el proceso productivo.**

Dentro de las clasificaciones existentes de fuentes de oportunidades para incrementar la eficiencia del proceso productivo, se seleccionan las señaladas

anteriormente por ser oportunidades de mejoras significativas en el proceso a partir de los datos obtenidos en los consumos de entradas y salidas en el periodo de un año, por la identificación de las causas de las formas de generación de los desperdicios y residuos, las que forman parte del proceso (Inherentes al proceso), y los desperdicios incidentales (no forman parte del proceso).

El proceso en el año 2010 mostrado en las entradas y salidas de masa y energía generando desperdicios, fundamentalmente dependiendo de la materia prima, el agua y la electricidad, conducen a un cuadro de las deficiencias del proceso y al nivel de desperdicios existentes.

En el grafico siguiente se muestra la relación entre materia prima suministrada y arena producida en el año 2010, en la que se pueden apreciar fluctuaciones de un valor mínimo de 1.39 a un máximo de 1.57, mas de un 10 %.

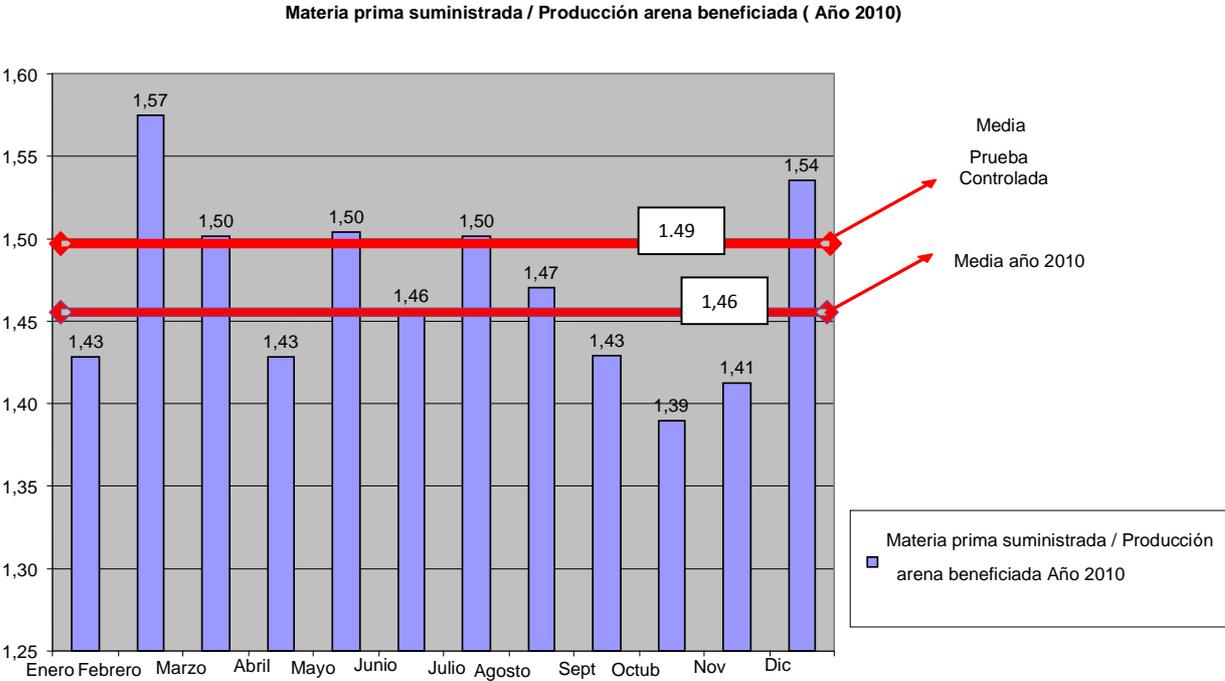


Grafico. 3. 3 Consumo de arena natural / producción de arena beneficiada.

En el grafico 3.4 se muestra el consumo de electricidad por m<sup>3</sup> de arena producida, observándose irregularidad en el consumo específico.

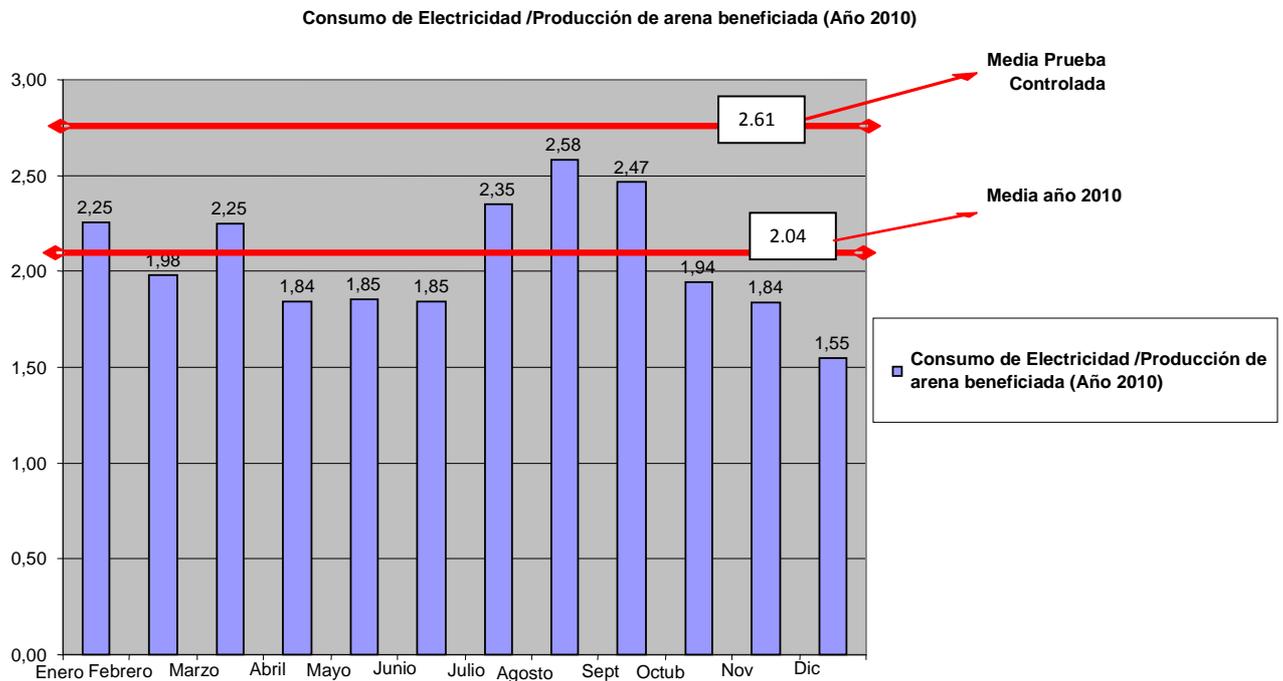


Grafico 3.4 Consumo electricidad /producción de arena beneficiada.

En la producción de arena beneficiada se muestra la variación de resultado de un 68% arena beneficiada y una perdida del 32% con relación a la entrada.

En el consumo de electricidad se muestra la variación en el proceso por el sobreconsumo por bombeo de agua.

Por las categorías existentes en las opciones de Producciones más Limpias, son aplicables para mejoras en el proceso de beneficio de arena, las siguientes opciones:

1. Buenas prácticas operacionales.
2. La gestión y práctica del personal.
3. Aplicación de nueva tecnología.

### 3.15.1 Buenas prácticas operacionales.

Dentro de esta opción de mejora se encuentran y pueden aplicarse:

- Solución de los salideros o fugas de agua en llaves y tuberías.
- Limpieza del paño de zaranda antes de iniciar el proceso diario.

- Limpieza del área planta y despacho culminado el proceso diario.
- Limpieza laguna sedimentación semanal.
- Instalación de metro contadores eléctricos por procesos, en el término de 1 mes.
- Instalación metro contador agua en el termino de 1 mes.

### 3.15.2 Gestión y práctica del personal.

Dentro de esta opción de mejora se encuentran y pueden aplicarse:

- Capacitación y educación ambiental por competencias según plan de educación ambiental..
- Supervisión y control diario del proceso por los puntos de inspección de calidad.
- Cumplimiento del plan de mantenimiento de los equipos por horas de trabajo.
- Control y registro de los consumos por procesos, en planta y demás áreas.

En los pasos anteriores se han identificado diversas opciones de P+L, algunas de las opciones identificadas son de aplicación obvia y rápidas, especialmente las que solo implican cambio de gestión, relacionadas y detalladas anteriormente, en la tabla 3. 15 se relacionan las opciones y sus beneficios.

Tabla 3.15 Opciones de aplicación rápidas.

Opciones	Beneficios ambientales
Reparación de los salideros y fugas de agua	Disminución de consumo de agua, costos.
Limpieza del paño de zaranda	Aumento calidad del producto, mejora en el proceso
Limpieza Laguna de sedimentación	Cumplimiento de legislación ambiental, mejora en el proceso
Control de agua de entrada al proceso	Control de los gastos y costos, que ayudan a la evaluación de eficiencia.
Instalación de metro contador de agua	Control del consumo y gastos

	por procesos.
Cumplimiento plan mantenimiento de los equipos	Social, mejoras en el control del proceso, disminución de costos
Control y registro de los consumos por procesos	Económicos, técnicos, productivos

La aplicación de opciones de mejoras rápidas dentro de las opciones de Producciones Mas Limpias, demuestra que es posible encontrar beneficios ecológicos, económicos y de proceso, sin requerir inversiones, lo que establece el compromiso que debe tener la industria con el medio ambiente y el ahorro de recursos.

### **3.15.3 Medidas que requieren inversión.**

La opción de aplicación de medida que requieren inversión, específicamente el cambio de tecnología, se le realiza un análisis técnico y económico mas profundo. Para la aplicación de esta opción, se analizaron y evaluaron con la dirección general del grupo empresarial, y la Empresa, todo lo relacionado con la inversión, beneficios, costos, recursos, importancia, necesidad de aplicación del proyecto y la posibilidad real de la ejecución. Debe considerarse que al efectuarse cambio de tecnología, los trabajadores, técnicos y directivos recibirán capacitación y preparación adicional, incidiendo en la mejora de la gestión del proceso.

#### **3.15.3.1 Evaluación técnica de la factibilidad de la inversión.**

El proceso de beneficio de cualquier mineral constituye el enlace tecnológico entre la extracción o arranque de materias primas minerales y su transformación en materiales de uso industrial, por lo que las técnicas utilizadas en su proceso de producción deben ser compatibles con el desarrollo tecnológico y la conservación del medio ambiente.

Para realizar el desarrollo y evolución técnica del proyecto de cambio de tecnología se analizan las ventajas que ofrece la instalación del Hidrociclón en este centro productivo y las mejoras con relación al aprovechamiento de la arena, agua,

electricidad, disminución de generación de desperdicios, calidad mejorada del producto, y la disminución de los gastos, los que se explican a continuación.

Rendimiento de clasificación: El rendimiento que alcanza este tipo de hidrociclón esta determinado por la masa de partículas que realmente atraviesa la malla, clasificando frente a la que debe pasar conteniendo partículas inferiores al tamaño de clasificación en la alimentación. La masa de partículas finas que no atraviesan la malla, se va con la fracción gruesa o rechazo, constituyendo los llamados desclasificados, y que obviamente están relacionados con la eficiencia, y el porcentaje de pasantes (Fracción fina), por lo que la eficiencia del proceso se establece un promedio entre 90 % y 95 % según el fabricante, obteniéndose un máximo del 98%.

Consumo de materiales y energía: Esta en dependencia de la calidad de la arena natural y su contenido de material no procesable, actualmente son los más eficientes en el aprovechamiento de la materia prima, recuperando en la operación partículas de hasta 0.063mm.

Consumo electricidad: El consumo de electricidad esta dentro de los indicadores aceptados (1.54)

Calidad de los productos y subproductos: la arena producida con clasificadores centrífugos es superior en calidad a la de los lavadores convencionales, al disminuir considerablemente la humedad de la misma en el proceso de escurrido.

Corrección de la pérdida de la materia prima que entra al proceso: Con la nueva tecnología se reduce la pérdida de la arena, por su gran aplicación en la recuperación de las arenas finas.

Recursos humanos requeridos: El personal a operar la planta es el mismo, ya que son operarios de gran experiencia y solo requieren como operadores frontales de la capacitación específica.

Riesgos al aplicar la opción: Por experiencias en otras provincias del país la instalación no ofrece riesgo alguno en su aplicación.

Consumo de agua: El agua requerida por tonelada de sólidos a tratar, esta fijada por las características operativas y oscila entre 1.0 m<sup>3</sup> y 1.06 m<sup>3</sup>.

Gasto de agua: A efectos del gasto de agua se considera la humedad en el producto acabado que se estima entre un 3 y 5 %.

Facilidad de aplicación: La facilidad de aplicación es positiva, ya que anteriormente se han instalado 13 hidrociclones en 10 provincias, y existe personal de la dirección de Equipos Tecnológicos, Dirección de desarrollo, Dirección de Canteras del grupo empresarial encargado de la facilidad técnica, por lo que no se requiere de asistencia técnica del suministrador para la instalación y puesta en explotación.

En la tabla 3.18 se muestran de forma comparativa los resultados de mejoras con la instalación del Hidrociclón con respecto a la tecnología actual. Se establece una comparación de las cantidades y valores obtenidos, tomando como referencia la entrada de 112184 m<sup>3</sup> arena natural en el año 2010 y las salidas con los valores asociados con ambas tecnologías.

El calculo de los valores del Hidrociclón se realiza con los datos, aportado por el fabricante, además se verificaron con las provincias que tienen instalados este tipo de equipo, los resultados obtenidos son significativos por el incremento de la producción de arena beneficiada, con relación a la entrada de arena natural al proceso de beneficio, lo que representa un aumento en la vida útil del yacimiento.

El tipo de Hidrociclón que se propone instalar es MLE Ø 625 mm, escurridor vibrante EV-53, en la figura 3.38 se muestra el modelo de Hidrociclón que se propone instalar dentro de los tipos existentes por clasificación.



Fig.3. 14 Hidrociclón tipo MLE Ø 625 mm, escurridor vibrante EV-53.

En los lavadores convencionales los indicadores de consumo, y gastos están en función de la producción terminada no así con los hidrociclones donde los balance de masa se realizan a partir del total de sólido (arena natural) a tratar y el cual según datos del fabricante tiene una eficiencia según los indicadores siguientes:

Producción de arena beneficiada: Aprovechamiento de la materia prima de un 90%.

Precio de arena beneficiada según ficha de costo actual de comercializadora Escambray: \$15.38

Consumo de agua: 1.06 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup> de materia prima a tratar.

Valor del agua: Por cada m<sup>3</sup> de agua consumida \$ 0.10

Consumo eléctrico: 1.54 kw/h por m<sup>3</sup> de producción realizada.

Sólido residual (lodo): Promedio de un 10% de la materia prima.

Agua residual: Contenido en el subproducto 6 %.

Agua en el producto: Contenido de Humedad del producto terminado 3%.

Agua que entra al clarificador para recirculación: Estimado de un 91 a 95%

El valor del agua contenida en el producto es parte del valor del consumo del agua total en ambas tecnologías.

En la tabla 3.16 se establece una comparación de las cantidades y valores, obtenidos con ambas tecnologías, utilizando la materia prima entrada a proceso en el año 2010 y los indicadores explicados anteriormente de comportamiento y eficiencia del hidrociclón.

Tabla 3.16 Comparación de las cantidades y valores entre las entradas y salidas con la tecnología actual y aplicada la inversión.

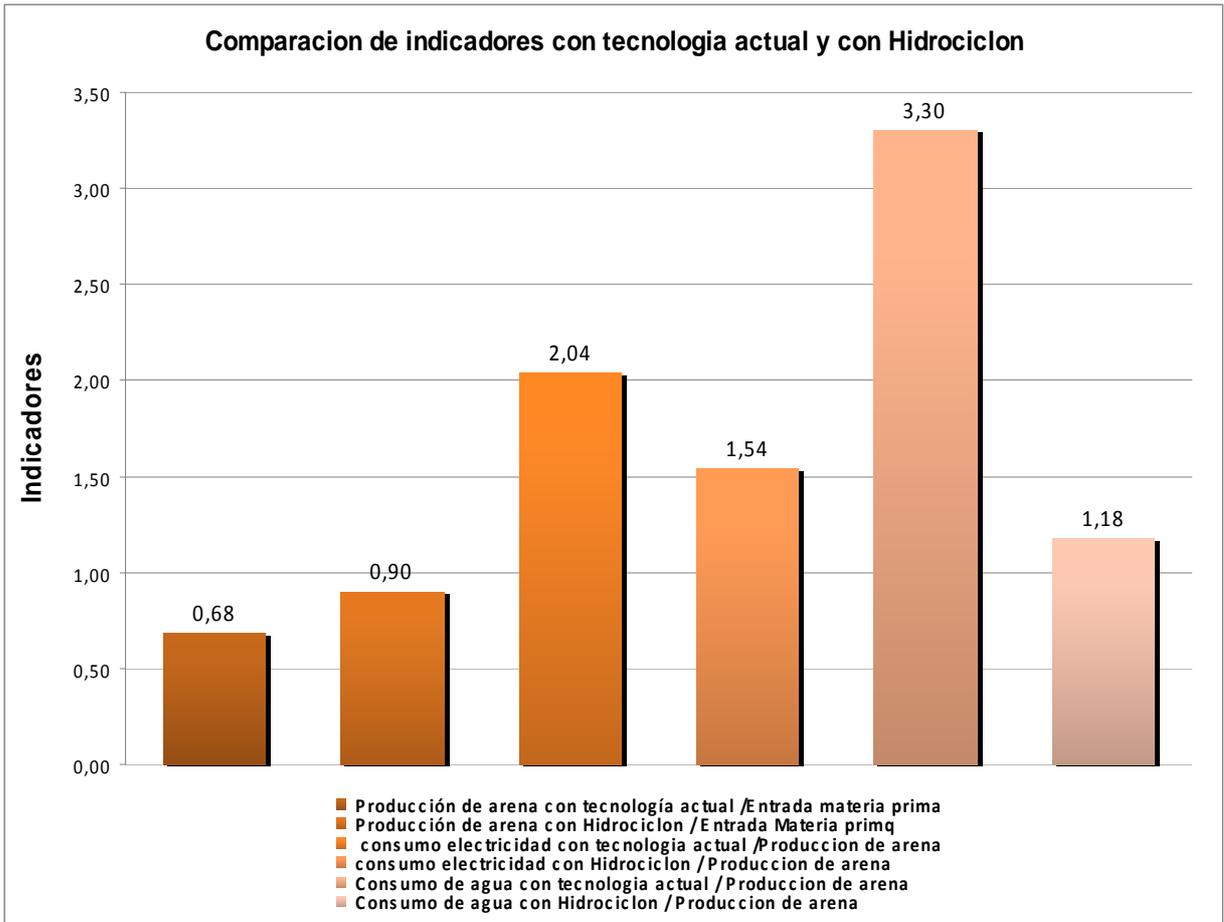
Elementos	Parámetros	Tecnología Actual	Aplicación de Hidrociclón
Materia prima	Cantidad:	112184	112184
	Valor:	\$ 465564	\$ 465564
Arena	Cantidad:	76403 m <sup>3</sup>	100966 m <sup>3</sup>
	Valor:	\$ 987127	\$ 1552857
Agua estimada incorporada al proceso	Cantidad :	252130	118915
	Valor:	\$ 37820	\$ 11892

Electricidad	Cantidad:	155724kw/h	155488
	Valor:	\$29645	\$ 29600
Agua residual	Cantidad:	201704m <sup>3</sup>	7135 m
	Valor:	\$ 4034	\$143
Agua en el producto terminado	Cantidad:	50426	3567
	Valor:	\$7564	\$535
Sólido residual	Cantidad:	35781m <sup>3</sup>	
	Valor:	\$ 462291	
Subproducto(lodo)	Cantidad:		11218 m <sup>3</sup>
	Valor:		\$172533

Como se explica en cantidades y valores en la tabla anterior, al comparar los resultados estimados de las entradas y salidas con ambas tecnologías, se demuestra para una misma entrada de materia prima se obtienen con la tecnología actual el 68% de arena beneficiada, con un alto consumo de agua, y con el Hidrociclón se obtiene el 90% de arena beneficiada con respecto a la entrada, y una pérdida del 9% de agua, logrando reincorporar el 81% del agua al proceso. Además con el Hidrociclón el subproducto puede ser utilizado en la construcción, no siendo así con la tecnología actual que se pierde el sólido residual sedimentado en las lagunas, y solo el 3% se incorpora a la rehabilitación de los suelos.

En el gráfico 3.3 se muestran de forma comparativa el comportamiento de los indicadores con ambas tecnologías, (producción de arena / materia prima, electricidad/ producción y consumo de agua / producción de arena)

Gráfico 3.5 Comparación de comportamiento de los indicadores con ambas tecnologías.



### 3.15.3.2 Evaluación económica de la inversión.

En la evaluación económica de la inversión se hace la estimación del periodo de retorno de la inversión simple (PIR), y se realiza a partir del valor total de la inversión como:

$$\text{El PIR} = \frac{\text{Costo de la Inversión}}{\text{Incremento de Utilidades}} \quad \text{Valor de la inversión: } \$ 357710$$

De donde el incremento de Utilidades es:

$$\text{Incremento de Utilidades} = \text{Incremento de los Ingresos (I)} + \text{Reducción de gastos (II)}$$

$$\text{(I) El Incremento de Ingreso} = \text{Ingresos Con Hidrociclón} - \text{Ingresos Con Tecnología actual}$$

$$\text{Incremento de Ingreso} = \$ 1552857 - \$ 987127 = \$ 565730$$

**( II ) Reducción de gastos:**

$$\text{La Reducción de gastos} = \text{Reducción de gasto agua} + \text{Reducción de gasto electricidad}$$

**Reducción de gasto de agua:** **Reducción de gasto de electricidad:**

\$ 41854	\$ 29645
- <u>\$ 11892</u>	- <u>\$ 29600</u>
\$ 29962	\$ 45

$$\begin{aligned} \text{La reducción de gastos} &= \text{Reducción de gasto agua} + \text{Reducción de gasto electricidad} \\ &= \$ 29962 + \$ 45 \\ &= \$ 30007 \end{aligned}$$

**Por lo que el: Incremento de utilidades** = Incremento ( I ) + Reducción ( II )  
de ingresos de gastos

$$= \$565730 + \$ 30007 = \$595737$$

$$\text{El PIR} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Incremento de utilidades}} = \frac{\$ 357710}{\$ 595737} = 0.60$$

El Periodo estimado de Retorno de la Inversión es de 7 meses.

La evaluación del periodo simple de retorno de la inversión estimado forma parte del estudio técnico solicitado por el grupo empresarial para decidir la aprobación de la instalación de un Hidrociclón en la provincia Cienfuegos, y cuyo estudio fue solicitado a la dirección de desarrollo tecnológico de la industria, aportándose todos los datos que posibilitan la justificación económica, técnica, y social para realizar la importación.

El proyecto de instalación de Hidrociclón en la provincia esta aprobado por el ministerio y el grupo empresarial, el cual forma parte de las inversiones a realizar en el país, en apoyo a los cambios y transformaciones en el sector empresarial de la construcción, para el incremento de la producción de materiales de construcción, contribuyendo al desarrollo económico y social del territorio, de forma integrada, racional, efectiva y eficiente.

## **Conclusiones parciales**

1. Los indicadores utilizados para la evaluación en la planta son ratificados con la prueba de operación controlada excepto el consumo de agua.
2. Se demuestra una sobrealimentación de agua al proceso del 62% lo que representa un estimado anual de 158260 m<sup>3</sup> y el agua en el producto esta en el orden del 20%, equivalente a 81928 m<sup>3</sup> anual, afectando la calidad e incrementando el consumo de combustible en transportación.
3. El estimado de perdidas por fugas y salidas es de 24623 m<sup>3</sup> anual
4. El sobreconsumo eléctrico por sobrebombeo de agua es de 49043 Kw/h
5. El volumen de agua residual que emite la planta es de 328312 m<sup>3</sup> anual con un contenido de sólido sedimentable de 34777 m<sup>3</sup>, superior al aportado según los indicadores aplicados para el pago a INRH.
6. Se demuestra que el tiempo de retorno simple de inversión en un Hidrociclón es de 7 meses.
7. La aplicación de hidrociclones en el proceso de beneficio de arena es factible económico, técnico y social, por cuanto simplifica el proceso, en las operaciones de lavado recuperando partículas de hasta 0.063 mm alcanzando un mayor aprovechamiento de la materia prima, simplificando y reduciendo los costos de las etapas finales de tratamiento de agua y sólido residuales, mejora en la calidad del producto final obtenido, reducción de los costos de producción, con un mejor aprovechamiento del agua y energía.

### **Conclusiones generales:**

1. La Evaluación de Producciones Mas Limpias en la arenera El Canal, permitió demostrar el sobreconsumo de agua y la sobreemision de residual, así como el sobreconsumo eléctrico asociado.
2. potencialidades de mejora estimada sin inversiones son :  
Reducción del consumo de agua en: 61 %  
Reducción del consumo eléctrico: 25 %  
Reducción de la corriente de agua residual: 30%
3. Las potencialidades de mejora con inversión en un Hidrociclón son:  
Reducción del consumo de agua en: 53 %  
Reducción del consumo eléctrico: 0.15 %  
Reducción de la corriente de agua residual: 96 %
4. Se requiere la capacitación y concientización de todo el personal de la planta.
5. La experiencia es generalizable en la industria arenera del país según solicitud del grupo empresarial

**Recomendaciones:**

1. Repetir la evaluación cuando se instale el Hidrociclón para evaluar el beneficio real.
2. Generalizar el trabajo en la industria arenera en Cuba. Mediante un manual de aplicación y la coordinación con el grupo empresarial.
3. Realizar una propuesta de norma empresarial para aplicar en la industria arenera.

## Bibliografía:

1. Abo, M. (2001). *Principales Problemas Ambientales en el Sector Empresarial*. CIGEA.
2. *Análisis del Tamaño de las partículas de un suelo*. (n.d.). . Escuela de Ingeniería de Antofagasta. Retrieved from <http://www.ucn.cl/Facultades/Institutos/Laboratorio/FinoT3.htm>.
3. Andreoni, R. (2005). Analisis de agregado petreos provenientes de canteras comerciales.
4. Arellano, D. (2002). *La Dimensión Ambiental en las Empresas Cubanas*. AMA CITMA.
5. Arenas Cabello, F. J. (n.d.). El impacto ambiental en la Edificación. Criterios para una construcción sostenible. Edifoser.
6. Arredondo y Verdú, F. Y. O. (n.d.). *Los áridos en la construcción*.
7. Bañón Blazquez, L. (2008). *Manual de carreteras*. Retrieved from <ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iiplogaa/OTRO%20MANUAL%20DE%20CARRETERAS%202008>.
8. Barreiro, G. H. (n.d.). Agregados pétreos.
9. Bermúdez, J. P. (n.d.). ERAL PERÚ. Retrieved from [eralperu@eralgroup.com](mailto:eralperu@eralgroup.com)  
[www.eralgroup.com](http://www.eralgroup.com).
10. Blanco Álvarez, F. (n.d.). *Apuntes de clases de materiales de construcción*. 2011. Retrieved from <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/LECCION3.MaterialesPetreosNATURALES.5-ARIDOS.Introduccion.pdf>.
11. Borzunov, B. (n.d.). *Manual de búsqueda y exploración de Materiales de Construcción*. Moscú: Editorial Nedra.
12. Bouso Aragonés, J. L. (2002, Abril). Soluciones medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. Memorias de la II Jornada Iberoamericanas de Materiales de Construcción La Habana, Cuba.
13. Bouso Aragonés, J. (1996). Nuevos desarrollos en el tratamiento de arenas por vía húmeda.
14. Bouso Aragonés, J. (n.d.). Tratamiento de efluentes del lavado de áridos Eral Chile,
15. Bouso Aragonés, J. (1973). El hidrociclón y sus aplicaciones contra la contaminación de las cuencas hidrográficas: In *Rocas y minerales*. Madrid.
16. Bouso Aragonés, J. (1981). Equipos de tratamiento de arenas por vía húmeda. In *Rocas y minerales*. Madrid.

17. Bouso Aragonés, J. (1983). Lavado y clasificación hidráulica. In *Canteras y explotaciones*. Madrid.
18. Bouso Aragonés, J. (1984). El consumo de agua en el lavado de áridos y minerales. In *Canteras y explotaciones*. Madrid.
19. Bouso Aragonés, J. (1994). Eficiencia de Clasificación.
20. Bouso Aragonés, J. (1997). Tratamiento de aguas residuales, Madrid.
21. Bouso Aragonés, J. (n.d.). Pulpas Mezclas Sólido-Líquido. Madrid.
22. Bouso, J. L. (1985). Evaluación de la Operación de Hidrociclones en circuitos cerrados de Molienda.
23. Bouso, J. L. (1986). Aplicación de Hidrociclones.
24. Bouso, J. L. (1987). Pulpas, mezclas sólido-líquido.
25. Bouso, J. L. (1995). Eficiencias en Hidrociclones.
26. Bouso, J. L. (n.d.). Características de clasificación en el Hidrociclón.
27. Brechet, A. (n.d.). Manejo Ecológico del suelo.
28. Brodtkom, F. (2011). *Guía de buenas prácticas medioambientales en la industria extractiva europea. Aplicación al caso de España*. Ediciones de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Economía. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=311663>.
29. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (CPTS) Guía técnica general de Producción Más Limpia. Bolivia. (2005). . Retrieved from <http://www.cpts.org/prodlimp/guias/GuiagraPML/cap1.pdf>.
30. Centro Nacional de Producción Mas Limpia de Honduras (CNP+LH). Guía de P+L para el cultivo y producción de la tilapia. (2008). . Retrieved from <http://www.cohep.com/pdf/GUIA%20P+L%20TILAPIA.pdf>.
31. Colectivo de Autores. (2006). *Protección Ambiental y Producción Mas Limpia*. Ciudad de la Habana: Editorial Academia.
32. Colectivo de autores. (n.d.). *Principios de la Cultura Ambiental Empresaria*.
33. *Compendio de normas cubanas de ensayos de áridos*. (2002). .
33. Decreto Ley. (n.d.). .
34. Decreto Ley 138 De las aguas terrestres. (n.d.). .
- Decreto Ley 179. De la protección, uso y conservación de los suelos y sus contravenciones. (n.d.). .

35. El proceso de producción de áridos y el medio ambiente. (2011). . Retrieved from <http://www.conocelosaridos.org/pdfs/AridosyMA.pdf>. Accesado Sept 2011.
36. ERAL, equipos y procesos. (n.d.). .
37. Estrategia Ambiental Nacional 2005-2010. (2005). . Ed. Academia.
38. ESTUDIO SOBRE ARIDOS: geología, legislación, medio ambiente, normativa, explotación y tratamiento. (2010). . Retrieved from [www.explorageologia.com](http://www.explorageologia.com).
39. Fernandez, J. (1984). Proyecto de explotación del Yacimiento Cumanayagua Cienfuegos.
40. Fueyo. (n.d.). *Equipos de trituración, molienda y clasificación. Tecnología, diseño y aplicación*. 1999: Editorial Rocas y Minerales.
41. Gaitán Ovalle, P. (2008). *Estudio sobre las operaciones unitarias más utilizadas en los Procesos de manufactura por las industrias de procesamiento de materiales instaladas en Guatemala*.
42. Gayoso Blanco, . (2007). *Áridos para Hormigón. Especificaciones y Ensayos*.
43. Gorchakov, G. (1984). *Materiales de Construcción*. Editorial Moscú.
44. Growth Policy Update 2011-2012. Flathead County. Montana state. USA. Chapter 8. Natural Resources. (2007). . Retrieved from [http://flathead.mt.gov/planning\\_zoning/growthpolicy/Chapter%208%20April%2010.pdf](http://flathead.mt.gov/planning_zoning/growthpolicy/Chapter%208%20April%2010.pdf).
45. Grupo de Trabajo Estatal Bahía Habana. (n.d.). Estrategia Institucional.
46. Guía de buenas prácticas de gestión empresarial (BGE) para pequeñas y medianas empresas. Programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en países en vías de desarrollo. (2007). . Retrieved from <http://www.gtz.de/en/dokumente/sp-sl-Competitividad-empresarial-larga.pdf>.
47. Guía de implementación de P+L. Lima, Perú: (2003). .
48. Guía de indicadores ambientales para las em-presas. (1998). .
49. Guía de P+L para el sector turístico hotelero. (2009). . Retrieved from <https://cohep.com/pdf/GUIA%20DE%20P+L%20TURISTICO%20HOTELERO.pdf>.
50. Guía de producción más limpia. Cultivo y procesamiento de tilapia. (2008). . Retrieved from [http://luisdi.files.wordpress.com/2008/08/guia\\_de\\_pl\\_de\\_tilapia\\_22\\_08\\_08.pdf](http://luisdi.files.wordpress.com/2008/08/guia_de_pl_de_tilapia_22_08_08.pdf).
51. *Guía para elaborar un sistema de control de producción en fábricas de áridos*. (n.d.). . ANEFA.

52. Guía técnica de producción mas limpia para curtiembres. Bolivia. (2003, February). . Retrieved from <http://www.cpts.org/prodlimp/guias/Cueros/Capitulo5.pdf>.
53. Howland Albear, J. J. (2006). Curso de Postgrado Tecnología del hormigón.
54. Iturralde, M. Y. O. (2006). *Curso Naturaleza Geológica de Cuba*. Editorial Academia.
54. Jeffrey, I. K. (2002). *Sustainable provision of aggregates. Optimising the efficiency of primary aggregate production*. Retrieved from [http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/mist/t2b\\_oepap.pdf](http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/mist/t2b_oepap.pdf).
55. Ley 76. De Minas. (n.d.). .
56. Ley de Proteccion e Higiene del Trabajo. (1977). .
57. Ley No 81 Ley de Medio Ambiente. (1997). . Gaceta Oficial de la Republica de Cuba.
58. López Moreda, L. (n.d.). Propuesta de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en la actividad hotelera. Retos Turísticos (Vol. 8). 2009.
59. Manual de producción más limpia. (1999). .
60. Martirena,, J. (n.d.). Producción de ecomateriales para la construccion de viviendas de interes social como via de descentralizacion. La Habana.: Ed. Academia.
61. Menéndez, J. (1943). Una lección sobre arena.
62. Mogensen, P. (1988). *Una idea de cribado: Las cribas MOGENSEN. Rocas y minerales*.
63. Muso Laespiga, M. Y. O. (2001). Áridos para la Construcción en Montevideo, Uruguay: Ensayos de caracterización expedita y clasificación en función de la fracción fina. Montevideo, Uruguay.
64. NC/27 Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y alcantarillada. (1999). .
65. Normas de Explotacion y beneficio de minerales a cielo abierto. (n.d.). . Moscu.
66. Normas de proceso de minerales no metalicos. (n.d.). .
67. Nueva estrategia ambiental nacional 2007-2010. (2007). . CITMA.
68. Oficina Nacional de Estadística (ONE). Minería cubana en cifras. (2010). . Retrieved from <http://www.one.cu/publicaciones/04industria/Mineria%20en%20Cifras%20Cuba%20010/Mineria%20en%20Cifras%20Cuba%202010.pdf>.
69. Orusso Asso, F. (n.d.). *Materiales de construcción*. Editorial Academia.
70. Producción más limpia. Un paquete de recursos para capacitación. (n.d.). . Retrieved from <http://www.pnuma.org/industria/documentos/pmlcp00e.pdf>.

71. Ramírez, A. (2002). *La construcción sostenible*. Física y Sociedad.
72. Regueiro Gonzalez-Barros, M. (2011). La extracción de áridos en la Unión Europea en el marco de la estrategia del uso sostenible de los recursos naturales. Retrieved from <http://ww2.minas.upm.es/catedra-aneфа/Benjamin-M1/Aridos-Europa.pdf>.
73. Resolución 291 del Ministerio de Finanzas y precios. (2010). .
74. Resolución 382/ Ficha de precio para comercializar arena natural y beneficiada de minas. (n.d.). .
75. Resolución 58. Normas de Consumo de agua. (1995). .
76. Sánchez, T. A. (n.d.). 'Uso Eficiente del Agua: un recurso de agua en sí mismo'. Producción Más Limpia y Competitividad. Universidad del Valle, CINARA. Colombia.
77. Serrano, H. (2001). La Dimensión Ambiental en el Perfeccionamiento Empresarial.
78. *Tecnología del hormigón. Determinación del material fino menor que 0.080mm*». (n.d.). . Retrieved from <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/equivT3.htm.Tecnologia> del hormigón. Determinación del equivalente de arena.
79. Toirac,, J. (1994). Utilización de residuos de arena lavada en la producción de elementos de piso y pared para viviendas de bajo costo. Ciencia y Sociedad.
80. Tratamiento de aguas residuales. (1994). .
81. Trawinski. (n.d.). Aplicación y Funcionamiento Práctico de los Hidrociclones.
82. *Una lección sobre arena*. (n.d.). .
83. Valdés, E. (2002). *La Producción Más Limpia*.

**Anexo 1: Tipos y modelos de Hidrociclones según capacidad (t / h).**

TIPO	HIDROCICLON Ø mm	BOMBA Ø mm	ESCURRIDOR VIBRANTE TIPO	POTENCIA TOTAL ( kw )	CAPACIDAD ( t / h )
MLE 15	150	40	EV 12	5.1	8
MLE 25	250	50	EV 22	9.3	15
MLE 32	325	75	EV 23	14.2	30
MLE 40	400	100	EV 33	22.9	50
MLE 50	500	150	EV 43	37.2	70
MLE 62	625	150	EV 53	49	95
MLE 75	750	200	EV 54	55	130
MLE 100	500	200	EV 64	89	200
MLE 2 /62	2 X 625	250	EV 75	111.2	250
MLE 2 / 75	2 X 750	300	EV 136	136	300

**Anexo 2: Tecnologías, canteras y yacimientos existentes en el país.**

Canteras									
NO	Provincia/Cantera	Material que Produce	Tecnología	Año de Puesta en Marcha	Capacidad (Mm <sup>3</sup> )		Capacidad Disponible (m <sup>3</sup> /hora)	Km. a la Empresa	Ubicación del Centro
					Diseño	Disponible			
118	* Totales				16.683	7.412,2			
10	<b>Pinar del Río</b>				1.281,5	697,5			
1	Cantera Reinaldo Mora (Sitio Peña) Planta I y II	piedra-arena art	España	1978	480,0	210,0		28	Consolidación
2	Cantera Elpidio Berovides (La Reforma):	piedra-arena art			400,0	240,0		81	San Cristóbal
3	* Molino II	35% Arena	URSS	1979	200,0	120,0			

4	* Molino III	39% Arena	URSS	1986	200,0	120,0			
5	Cantera Rene( Teté) Contino(Pons)	polvo-granito	URSS	1974	90,0	75,0		43	Minas.Pons
6	Cantera Pepe Portilla( Mármol Gris)Isabel R	polvo-piedra	URSS	1974	90,0	75,0		67	Guanes
7	Cantera Quiñones	piedra-polvo	URSS	1976	113,5	75,0		130	Bahía Honda
8	Cantera Rigo Fuentes	Carbonato.	URSS	1975	60,0	22,5		27	Consolación
9	Yacimiento de arena natural(La Tea-San Benito)	arena natural		2005	48,0			31	San Luis
<b>17</b>	<b>Provincias Habaneras</b>				<b>2.872,0</b>	<b>1.680,0</b>			
1	Cantera Dragón(206)	piedra.arena art	Francia	1975	800,0	240,0		29	San-Jose
2	Arenera Victoria II (Hidrociclón)	arena artif.	Alemana	1980	200,0	135,0	100,0	20	Monumental
3	Arenera Victoria III (Hidrociclón)	arena artif.	España	1987	200,0	135,0	100,0		Monumental
4	Arenera Victoria IV (Hidrociclón)	arena artif.	Mixta	1984	150,0	120,0			Monumental

5	Cantera Rubén Martínez Villena (Jamaica 203)	piedra.polvo	Mixta	1992	180,0	0,0		30	San-Jose
6	Cantera Beneficiadora(Copelita-206 II)	piedra-arena art	Cuba		75,0	45,0		30	San-Jose
7	Cantera Antonio Ravelo la 210	piedra-arena art	RDA	1970	150,0	90,0		32	Caimito
8	Cantera Anafe III	piedra .polvo	Mixta	1982	200,0	180,0		32	Caimito
9	Cantera Domingo Fernández II la 212	piedra .polvo	URSS	1974	90,0	90,0		32	Caimito
10	Cantera Minas(204)	piedra .polvo	Cuba	1950	75,0	60,0		20	Carret.guanab
11	Cantera J. Torres Bauta I (213)	polvo-macadam	Mixta	1968	120,0	60,0		16	Bauta
12	Cantera J. Torres Bauta II (213)	polvo	Mixta	2006	84,0	45,0		16	Bauta
13	Cantera QUIEBRA HACHA (Guanabacoa)	piedra,granito,arena art	Alemana	2004	200,0	180,0	130,0	20	Monumental
14	Cantera QUIEBRA HACHA (Mariel)	arena cernida		2005	48,0	30,0			Mariel
15	Cantera La Molina (paralizada)								
16	Cantera Alacranes	piedra, polvo	España	2006	300,0	270,0	100,0		Alacranes
<b>7</b>	<b>Matanzas</b>				<b>1.217,0</b>	<b>580,0</b>			
1	Cantera Antonio Maceo:(Coliseo)		Mixta		500,0	210,0		38	Coliseo

2	* I (Hidrociclón)	arena artif.y piedra	España	1967	200,0	210,0	100,0		
3	* II	piedra-polvo		1980	300,0	0,0			
4	Cantera Planta Libertad	piedra-arena artif.	Mixta	1994	390,0	180,0		23	Limonar
5	Cantera 5 de Diciembre (Regalito de Maya)Molino-I y II-III	rajon-aren.polv	Mixta	1985	135,0	90,0		40	Limonar
6	Arenera Santa Marta(cernidora)	arenisca	mixta	2008	42,0	40,0			Santa Marta
7	Cantera de yeso Carlos Dias Ramos.	yeso triturado	mixta		150,0	60,0			canasi
<b>9</b>	<b>Villa Clara</b>				<b>1.528,0</b>	<b>595,0</b>			
1	Cantera Mariano Pérez (el Purio) (Hidrociclón)	pied-polvo.arena art.	España	1989	1.200,0	300,0		45	Encrucijad a
2	Cantera Raúl Cepero Bonilla (Palenque)	Carbonato.			25,0	25,0			
3	Cantera Raúl Cepero Bonilla (Palenque)		URSS		105,0	150,0		50	Palenque
4	* I y II	piedra-polvo		1975	86,0	75,0			
5	* III	Macadam		1976	19,0	75,0			
6	Arenera Sergio Soto (Barajagua)El hoyo	Arena lav.y natur	Cuba	1976	150,0	120,0			Manicarag ua

7	Yacimiento de arena natural(paralizado)	arena natural		2005	48,0				Encrucijada
<b>7</b>	<b>Cienfuegos</b>				<b>822,0</b>	<b>345,0</b>			
1	Cantera 500 para Asfalto	piedra-polvo	CM739	2008	180,0	180,0			Pepito Tey
2	Cantera El Cuero (Paralizado)	granito-piedra-polvo	URSS	2006	30,0			30	Palmira
3	Cantera La Calera	piedra-polvo	URSS		75,0	45,0			
4	Molino Santiago Ramirez ( Arríete)	piedra-polvo	RDA-China	1972	300,0			30	Palmira
5	Arenera el Canal	arena lavada	Cuba	1984	126,0	70,0		36	Cumanayagua
6	Lavadora Arimao I y II	arena lav.piedra	Mixta	1977	63,0	50,0		27	Cumanayagua
7	Yacimiento de arena natural (El Canal)	arena natural		2005	48,0	0,0		36	Cumanayagua
<b>5</b>	<b>Sancti Spíritus</b>				<b>610,8</b>	<b>407,2</b>			
1	Cantera Nieves Morejón,Caliza blanca 2	piedra-polvo	RDA	1973	300,0	240,0		12	Guayos
2	Cantera El Yigre	piedra-polvo	URSS	1982	200,0	120,0		70	Yaguajay

3	Arenera Algaba	arena lavada	Cuba	1975	60,0	45,0		80	Trinidad
4	Yacimiento de arena(Yayo Machin)	arena natural		2005	48,0	0,0		4	Trinchera
5	Planta Feldespato Pico Tuerto(Toneladas)	polvo-piedra	RDA		2,8	2,2		6	Santi Espir.
<b>6</b>	<b>Ciego de Ávila</b>				<b>790,0</b>	<b>420,0</b>			
1	Molino XX Aniversario	pied.polv.arena artif.	España	1977	260,0	240,0		70	Chambas
2	Molino Los Barriles	pied.polv.arena artif.	Cuba	1985	300,0	120,0		70	Floencia
3	Arenera Van Troy.Hidrociclón.	arena benef.y nat.	Cuba	1966	90,0	60,0	66,0	65	Chambas
4	Arenera El Corojo (yacimiento de arena natural)	arena natural	Cuba	1990	40,0	0,0		40	Chambas
5	Molino Marroquí (paralizado)	piedra-polvo	URSS	1978	100,0	0,0		36	Marroqui
<b>8</b>	<b>Camagüey</b>				<b>1.636,0</b>	<b>517,5</b>			
1	Cantera Viet Nam Heroico(Sierra Cubitas) (Hidrociclón)	pied.polv.arena artif.	Inglaterra	1971	1.200,0	270,0		23	Sierra Cubitas
2	Arenera Rafael Guerra (Florida)	arena lavada	Cuba	1970	69,0	60,0		32	Florida
3	Arenera Cascorro(Tornillo Lavador)	arena benefic.	Cuba	1970	69,0	60,0		61	Guaimaro

4	Arenera Camilo Torres (San Miguel)	arena benefic.	Cuba	2009	60,0	45,0		75	Carret.Santa L.
5	cantera Jiquí	piedra-polvo	URSS	1972	57,0	0,0		100	Esmeralda
6	Cantera Jesús Suárez Gayol	piedra-polvo	URSS	1972	75,0	60,0		54	Santa Cruz
7	Arenera Evelio Rodríguez. Camujiro - La Conchita	arena cernida	Cuba	1978	58,0	22,5			Camaguey
8	Yacimiento de arena natural la Conchita	arena natural		2005	48,0	0,0		5	Camaguey
<b>12</b>	<b>Las Tunas</b>				<b>608,0</b>	<b>330,0</b>			
1	Cantera José Rodríguez				268,0	120,0		40	Majibacoa
2	* I	piedra-polvo	Cuba	1973	120,0	40,0			
3	* II	polvo-piedra	URSS	1986	100,0	40,0			
4	* III (Hidrociclón)	piedra-arena artificial	ERAL	2005		40,0			
5	Arenera la veguita	arena natural-cernida	Cuba	1989	48,0	0,0		25	Majibacoa
6	Arenera la Canoa	arena lavada	Cuba	1982	82,0	60,0		5	La Canoa
7	* I			1982	50,0	30,0			

8	* II			1984	32,0	30,0			
9	Cantera Rodolfo Rodríguez Km-18	Carbonato, piedra.			210,0	150,0			
<b>8</b>	<b>Holguín</b>				<b>1.567,0</b>	<b>615,0</b>			
1	Cantera 200 Mm3 Candelaria (Gibara)	pied.polv.arena artif.			608,0	225,0		25	Gibara
2	* I (Hidrociclón)		URSS	1981	352,0	135,0			
3	* II		Cuba	1992	256,0	90,0			
4	Cantera 200 Mm3 Candelaria (Gibara)	Carbonato.				20,0			
5	Cantera Cerro Yabazón (Paralizada)	piedra-polvo	RDA	1972	219,0	0,0		25	Gibara
6	Cantera Ruben Vázquez ( Pílon)	pied.polv.arena	España	1978	300,0	210,0		84	Mayari
7	Arenera Buenaventura linea 1-2 en el 2008	arena lavada.natural	Cuba	1982	220,0	100,0		60	Parra.Bue nav.
8	Cantera Sagua de Tanamo	piedra.arena art	URSS	1984	220,0	60,0		185	Sagua de Tan.
<b>6</b>	<b>Granma</b>				<b>1.424,0</b>	<b>387,5</b>			
1	Cantera Ramón Viamonte El Cacao (Hidrociclón)	pied.polv.arena artif.	España	1982	1.200,0	300,0	100,0	30	Jiguani

2	Cantera Ramón Viamonte El Cacao	Carbonato.				20,0			
3	Arenera La Mota	arena lavada	Cuba	1986	57,0	22,5		214	Mota
4	Arenera La Pitucha.GECA-Cernidora(paralizada)	arena natural-lavada	Cuba	2006	40,0	0,0		5	Bayamo
5	Cantera Madre Vieja.MINAGRI.	piedra-arena Lavada	Cuba	2006	70,0	0,0			Yara
6	Cantera Ignacio Pérez( La Manteca)	piedra	Cuba	1962	57,0	45,0		180	Pilon. Sevilla
<b>8</b>	<b>Santiago de Cuba</b>				<b>886,0</b>	<b>587,5</b>			
1	Cantera Los Guaos 200 Mm3 (Hidrociclón)	pied.-arena art-polv	RDA-Esp.	1973	200,0	180,0		12	Santiago de C
2	Cantera Siboney Hermanos Maranon	polvo.	URSS	1996	35,0	30,0		19	Santiago de C
3	Arenera Juaraguá-línea1-2 en el 2008	arena lav.cernid	Cuba	1867/1988	120,0	90,0		15	Baconao
4	Cantera Mucaral	piedra-polvo	RDA	1998	180,0	100,0		45	Songo Maya
5	Cantera Yarayabo-Planta1	piedra-polvo	URSS	2008	75,0	45,0			Palma Soriano

6	Cantera Yarayabo-Planta2,inversiones	piedra-polvo	China	2009	180,0	120,0			Palma Soriano
7	Cernidora Arena Juragua	arena natural, arena cernida		2005	48,0	22,5		15	Baconao
8	Yacimiento de arena natural Bamba	arena natural	Cubana	2005	48,0	0,0		47	Palma Soriano
<b>10</b>	<b>Guantánamo</b>				<b>1.101,0</b>	<b>195,0</b>			
1	Cantera San Rafael	polvo.piedra	URSS	1982	123,0	45,0		6	Niceto Pérez
2	Cantera Luis Raposo (La Purísima) (Hidrociclón)	piedra.arena artif.	España	1978	300,0	0,0		8	Niceto Pérez
3	Arenera Malabé	piedra, arena lavada	URSS	1991	90,0	0,0		32	Niceto Pérez
4	Cantera Baracoa	piedra.arena art	URSS	1984	180,0	45,0		140	Baracoa
5	Cantera Imias (CAJOBABO)	piedra.arena art	MIXTA	1984	180,0	45,0		100	Imias
6	Cantera El Lindero	piedra-polvo	URSS	2006	30,0	30,0			Maisi
7	Yacimiento de arena natural Los Franceses	arena natural		2005	48,0	0,0		50	CAIMANERA
8	Yacimiento de arena natural (Baracoa)	arena natural	Cuba	2006	60,0	0,0			Baracoa

9	Yacimiento de arena natural (Imias)	arena natural	Cuba	2006	60,0	0,0			Imias
10	Cernidora de Arena San Antonio, Cayamo	arena natural, arena cernida	MIXTA	2009	30,0	30,0		42	San Antonio
<b>5</b>	<b>Isla de la Juventud</b>				<b>340,0</b>	<b>55,0</b>			
1	Cantera José Antonio Echevarría (paralizada)	piedra-polvo	URSS	1985	200,0	0,0		3	Nueva Gerona
2	Cantera de Carbonato	Carbonato.							
3	Cantera José Antonio Echevarría 11	piedra-polvo	URSS	1990	40,0	30,0		3	Nueva Gerona
4	Yacimiento de arena natural	arena natural		1990	48,0	0,0		33	La Demajagua
5	Arenera Buenavista	arena lavada	Cuba	1985	52,0	25,0		33	La Demajagua