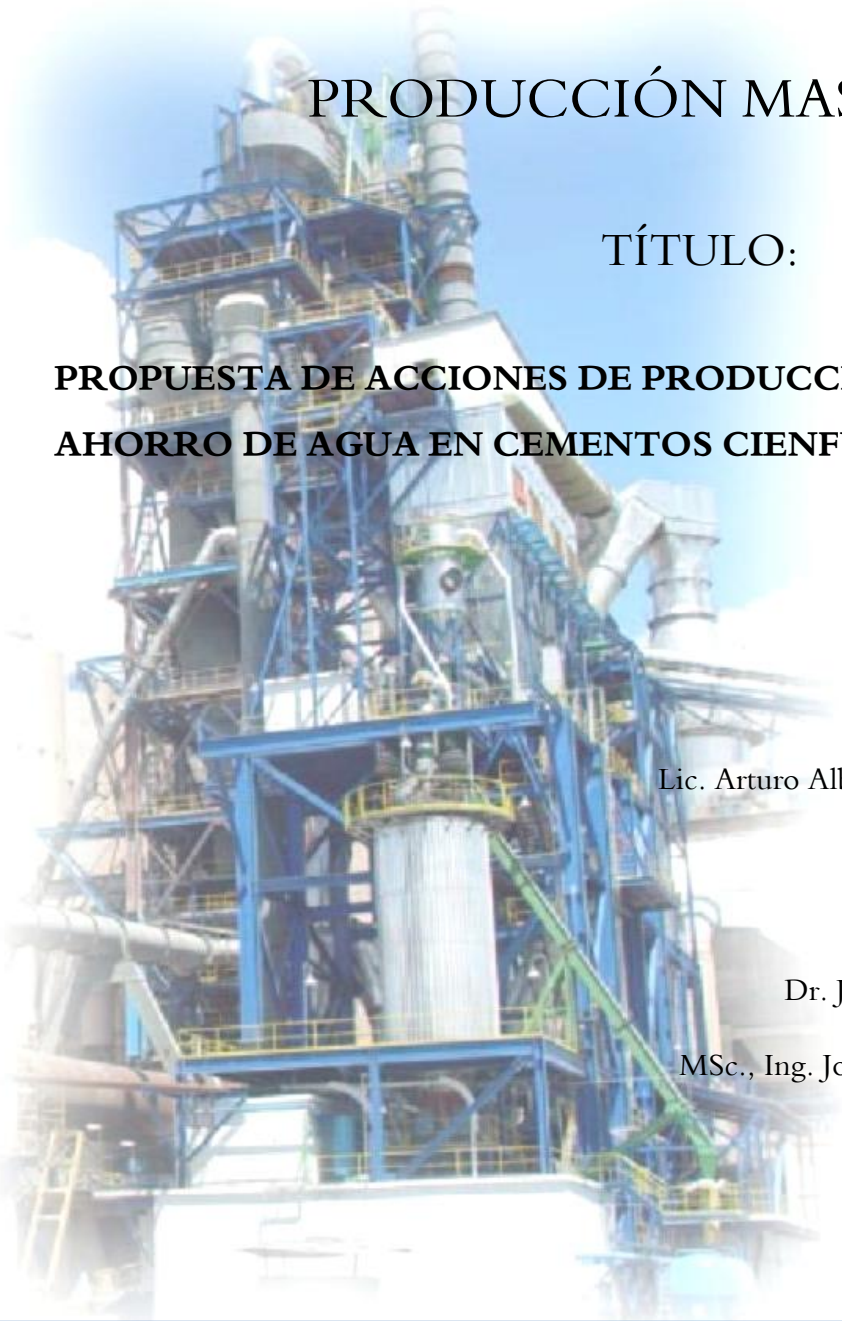
UNIVERSIDAD CIENFUEGOS
Carlos Rafael Rodríguez

Facultad de Mecánica

TESIS DE MAESTRIA.

PRODUCCIÓN MAS LIMPIA.



TÍTULO:

PROPUESTA DE ACCIONES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL AHORRO DE AGUA EN CEMENTOS CIENFUEGOS SA.

AUTOR:

Lic. Arturo Albey ÁLVAREZ ACEVEDO

TUTORES:

Dr. Juan José CABELLO ERAS

MSc., Ing. José Luis ROMERO CABRERA

CIENFUEGOS, DICIEMBRE, 2011.

"Año 53 de la Revolución"

Cementos Cienfuegos S.A.

Guabairo, Cienfuegos, 23 de diciembre 2011

A: Comité Académico
Facultad de Mecánica.
Universidad de Cienfuegos
"Carlos Rafael Rodríguez"

Estimado;

Hago constar que la Tesis de Maestría: "Propuesta de acciones de Producción más Limpia para el ahorro de agua en Cementos Cienfuegos S.A.", realizada por el Lic. Arturo Albey Álvarez Acevedo, ha sido elaborada en estrecha vinculación con la dirección de esta empresa y tutorado por el MSc.,Ing.: José Luis Romero Cabrera y Dr. Juan José Cabello Eras. El mismo ha cumplido el objetivo de proponer acciones de producción más limpia para el ahorro de agua en nuestras instalaciones industriales.

El trabajo representa una valiosa contribución a la demostración de ante la autoridad reguladora del CITMA de los esfuerzos de la Dirección General en el cumplimiento nuestra estrategia ambiental y la visión de mantener el liderazgo en la fabricación del cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba.

Para que así conste firma la presente.

Ing.: Orlando López Torres.
Vice Director General.

SISTEMA INTEGRADO DE GESTION CERTIFICADO
NC-ISO 9001:2008
NC-ISO 14001:2004
NC 18001:2005
Registro No. 012-2010

Carretera de Cumanayagua, km. 13,5
Guabairo• Cienfuegos• Cuba
Telf. +53 432 55 20 54 • Fax +53 432 51 29 32
53 7 208 96 7

Centro de Negocios Miramar • Edif. Stgo. de Cuba, Ofic. 314
5ta. Ave e/ 76 y 78 • Playa • La Habana • Cuba
Telf. +53 7 208 96 75 • Fax +53 7 208 96 7

Dedicatoria.

"Lo que embellece al desierto es que en alguna parte esconde un pozo de agua"

Antoine de Saint Exupéry

Dedicatoria.

A mis padres y hermanos por su incondicional apoyo en todo momento.

Agradecimientos.

"Toma consejo del vino, pero decide después con agua".

Benjamín Franklin.

Agradecimientos.

A todos los que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo, en especial a Coquito y a Cabello.

Odalis y Mariela Padrón por la confianza depositada en mí, para cursar esta maestría.

A mis compañeros del Laboratorio de Cementos Cienfuegos S.A.

A toda mi familia.

Resumen.

"Qué pena que beber agua no sea un pecado!

¡Qué bien sabría entonces!"

Giacomo Leopardi.

Resumen.

Este trabajo fue realizado en la empresa mixta Cementos Cienfuegos S.A. con el objetivo proponer a la Dirección General a partir de un estudio del consumo de agua de los procesos un conjunto de acciones de PML para el ahorro de agua, que garantice el uso racional de este recuso y disminuyan las pérdidas económicas derivadas de malas prácticas.

Este trabajo incluye también a partir de la identificación y caracterización de todas las entradas y salidas de agua en los procesos, un balance cuantitativo del agua en la empresa para finalmente identificar los puntos claves en su consumo.

En este trabajo se demuestra que a pesar de contar con un indicador de consumo de agua a nivel de planta, este no es representativo para valorar la eficiencia del consumo ya que a pesar de estar en el rango de clase mundial (0.40-0.50 m^3/ton de clinker), las pérdidas de agua son muy elevadas.

Finalmente las mejoras tecnológicas, de operaciones y buenas prácticas propuestas facilitan la reducción del consumo de agua y por tanto se minimizan las pérdidas económicas asociadas.

Summary.

This work was performed at Cementos Cienfuegos SA joint venture in order to propose to the Department from a water consumption study of the processes a set of actions of PML to save water, to ensure the rational use of this refusal and reduce economic losses resulting from malpractice.

This work also includes from the identification and characterization of all inputs and outputs of water in the process, a quantitative water balance in the company to finally identify the key points in their consumption.

In this paper we demonstrate that despite having an indicator of water consumption at the plant level, this is not representative to assess the efficiency of consumption and that despite being in the range of world class (0.40 to 0.50 m^3 / ton of clinker), water losses are very high.

Finally, technology improvements, operations and best practices proposed facilitate the reduction of water consumption and therefore minimize economic losses.

Índice.

"El agua es la mirada de la tierra,

su aparato para contemplar el tiempo."

Paul Claudel.

Índice

Resumen

Summary

Introducción 13

Capítulo I: Estudio Documental.....18

1.1. Caracterización de la problemática del agua en el mundo 19

1.2. Caracterización de la problemática del agua en Cuba.....23

1.3. Fundamentos del uso eficiente del agua.....27

1.4. Estrategias para el uso eficiente del agua.....33

I.4.1. Estrategia propuesta por Centro Nacional de Producción Más Limpia de….....33
Colombia (Montaño 2002)

I.4.1.1 Fase I. Inicio. 35

I.4.1.2 Fase II. Análisis de etapas del proceso..... 35

I.4.1.3 Fase III. Generación de oportunidades de ahorro y uso eficiente del agua.... 38

I.4.1.4 Fase IV. Seleccionar soluciones..... 40

I.4.1.5 Fase V. Implementar soluciones..... 41

I.4.1.6 Fase VI.Mantener proceso..... 42

I.4.2 Metodología propuesta por el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud .42
(ISTAS) de España (Muños 2010).

I.4.3 Metodología propuesta por el Gobierno de Carolina del Norte.. 43

I.5 Uso del agua en la fabricación del cemento. 45

Conclusiones Parciales. 48

Capítulo II: Consumo de agua en Cementos Cienfuegos S.A......49.

2.1 Descripción del proceso productivo.....52

2.2.1. Preparación de las materias primas..... 55

2.2.2. Uso del agua en la etapa de la preparación de las materias primas..... 57

2.2.3. Uso del agua en el área de dosificación y molienda de Crudo..... 58

2.3. Uso del agua en el área de Piroproceso. ……..60

2.4. Uso del agua en la producción de cemento……..65

Conclusiones parciales..... 66

Capítulo III: Propuesta de medidas de PML para el uso racional del agua…….…. 67

en Cementos cienfuegos S.A.

3.1. Utilización de índices de consumo general del agua……..……..….69

3.2 Utilización del agua de enfriamiento en las torres estabilizadoras.....…….....76

3.3 Utilización del agua de enfriamiento para el riego de la jardinería.....…….....…85

3.4 Malas prácticas en el uso del agua.....…86

3.4.1 Pérdidas del inventario de agua en la conductora de agua de Codicia …… 87

3.4.2 Pérdidas en el sistema de enfriamiento……..……..89

3.4.3 Sanitarios y usos domésticos……..…..... 92

3.4.4 No utilización del agua de escorrentías…….. ..…... 94

Conclusiones parciales……... …..… 97

Conclusiones Generales ……..……..……..… 98

Recomendaciones…….……100

Bibliografía ……..…….. 102

Introducción.

"Cuando el agua te llega al cuello,
no te preocupes si no es potable."

Stanislaw Jerzy Lec

Introducción.

La aparente abundancia del agua en el mundo ha dado la impresión, en el pasado, de que se trataba de un bien inagotable. Era también el más barato. En la mayor parte de regiones el agua era gratuita. Todo ello ha conducido al hombre a derrocharla. El riego se efectúa de forma excesivamente generosa, hasta el punto de anegar los suelos y de provocar una salinización secundaria. Las fugas en las redes de alimentación de agua de las ciudades son enormes. El agua se considera en la actualidad como un recurso económico del mismo valor que los minerales, y debe ser administrada racionalmente. En el origen de esta toma de conciencia aparece una importante disminución de este recurso en múltiples puntos del globo y, a partir de la mitad de la década de los setenta, el crecimiento del coste de la energía. Se ha constatado que la explotación irracional de un recurso de superficie o subterráneo provoca déficit de agua y que ese déficit tiende a aparecer en nuevos lugares y a menudo varias veces por año. Es probable que los déficit sean causados por la contaminación; en todos los casos, comprometen el desarrollo urbano y económico

La creciente necesidad de un equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población podrá lograrse armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

En nuestro país el agua que consume la población se obtiene de ríos, arroyos, acuíferos del subsuelo y presas. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cinco meses lo que propicia una escasa captación. Paralelamente a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora.

La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se logra embalsar y las cada vez más cortas temporadas de lluvias, hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor, bajo este panorama nos enfrentamos en la actualidad a graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua, lo cual nos hace que tomemos conciencia de su uso adecuado.

En momentos de recesión económica como el que vivimos actualmente cualquier forma que tengamos de ahorrar es muy importante y si aparte de esto pensamos que estamos mejorando la relación hombre - ambiente, al emitir menos contaminantes, es razón para que las empresas aprovechen la oportunidad de mejorar su imagen, aumentar la competitividad, expandirse a mercados más exigentes, y torcer su camino un poco hacia el tan mentado camino de la sustentabilidad.

Tanto las plantas cementeras como hormigoneras utilizan grandes volúmenes de agua en sus procesos productivos tanto para el enfriamiento de equipamiento tecnológico y sistemas de desempolvado en el caso de vía seca como para la elaboración de las colas en tecnologías de vía húmeda.

En el caso de Cementos Cienfuegos S.A. (proceso seco) las instalaciones mayores consumidoras están relacionadas con las torres estabilizadoras, el agua en este caso se utiliza para el rociado de la mezcla de gases y polvo antes del electrofiltros para disminuir la temperatura de esta mezcla y mejorar las propiedades eléctricas para una colección de polvo efectiva. Esta agua no se recupera por lo que se considera una pérdida natural del proceso.

En el resto de las instalaciones el agua se mantiene en un circuito cerrado de enfriamiento donde las fugas se encuentran minimizadas. En el caso del agua de sanitarios estas son conducidas a los sistemas de tratamiento de residuales (lagunas de oxidación) y aunque su minimización está considerada dentro de las tareas del programa de ahorro del agua su reutilización está considerada dentro del plan de mejoras.

El riego de las áreas verdes constituye una perdida necesaria de agua ya que la jardinería constituye un sistema ambiental destinado a evitar las resuspensión del polvo depositado en el terreno, evitar la erosión y mejorar el impacto ambiental visual de las instalaciones.

En Cementos Cienfuegos S.A. como parte de su estrategia ambiental se ha establecido un programa de ahorro de agua que en los últimos dos años ha venido disminuyendo sustancialmente los índices de consumo según se muestra en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Índice de consumo de agua en Cementos Cienfuegos S.A.

Consumos de agua	2008			2009		
	Plan	Real	% cumplimiento	Plan	Real	% cumplimiento
Total anual en m^3	888157.58	541559.5		583291.8	358948.8	
Consumo en m^3 por unidad de producto/servicio	0.82	0.50	60.9	0.65	0.40	61.53

Fuente: Elaboración propia

La reducción de los consumos de agua en las plantas cementeras reducen los costos variables por lo que, el no contar con una estrategia de ahorro se transforma en dinero perdido, mayor cantidad de residuos generados, mayores pagos para disponer correctamente el residual y mayor cantidad de multas percibidas por no cumplir con la legislación.

Formulación del Problema:

Las oportunidades de ahorro de agua no aprovechadas en Cementos Cienfuegos S.A.

Objetivos

Objetivo general:

Proponer acciones de PML para el ahorro de agua en Cementos Cienfuegos S.A.

Objetivos específicos

1. Realizar un estudio documental que permita establecer las tendencias internacionales y nacionales en la gestión del agua en las industrias y particularmente en la del cemento.
2. Identificar y caracterizar todas las entradas y salidas de agua en los procesos.
3. Realizar el balance cuantitativo del agua en la empresa e identificar los puntos claves en su consumo.
4. Realizar el inventario de malas prácticas y deficiencias en los puntos clave.
5. Proponer mejoras tecnológicas, de operaciones y buenas prácticas que permitan la reducción del consumo de agua.

Hipótesis

Es posible reducir el consumo de agua en Cementos Cienfuegos S.A. aplicando el enfoque de PML.

Aportes

Las propuestas de medidas tecnológicas, de operaciones y buenas prácticas que permitan reducir el consumo del agua en los puntos claves.

Tareas de investigación.

- Estudio documental.
- Exploración de la planta para identificar todas las entradas y salidas de agua.
- Balance cuantitativo del agua en la planta.
- Identificar todas las posibilidades de reutilización y reciclado del agua en la empresa Cementos Cienfuegos S.A.
- Proponer las medidas tecnológicas, de operaciones y buenas prácticas en puntos clave del proceso.

Capítulo I.

"El agua es el elemento y principio de las cosas"

Tales de Mileto

Capitulo 1 – Estudio documental.

1.1 – Caracterización de la problemática del agua en el mundo.

La gestión de los recursos hídricos es una actividad central para la vida humana, la salud, la economía y el bienestar político de cualquier región o país. La escasez de agua que se prevé para los próximos años, producto de la creciente demanda del recurso, debida al crecimiento de la población, cambios en los patrones de consumo, la contaminación y la falta de controles ambientales, ha contribuido a poner el tema de conservación y gestión de los recursos hídricos en la agenda política internacional (Comisión Europea, 1999).

La escases de agua ya es una realidad en gran parte del planeta, determinada por la baja disponibilidad de suministros renovables de agua dulce y el incremento desmedido de su consumo.

Una forma frecuentemente utilizada para medir la disponibilidad de agua es el Índice de Humedad Climática (IHC) (Willmott y Feddema, 1992). Este representa una medida del balance entre la precipitación y la evaporación anual en función del clima. El IHC varía de +1 a -1, mostrando los climas húmedos valores positivos y los climas áridos valores negativos. En la figura 1.1 se muestran los resultados de la evaluación del IHC en el mundo, observándose que el 52% de la población total vive en regiones áridas o semiáridas.

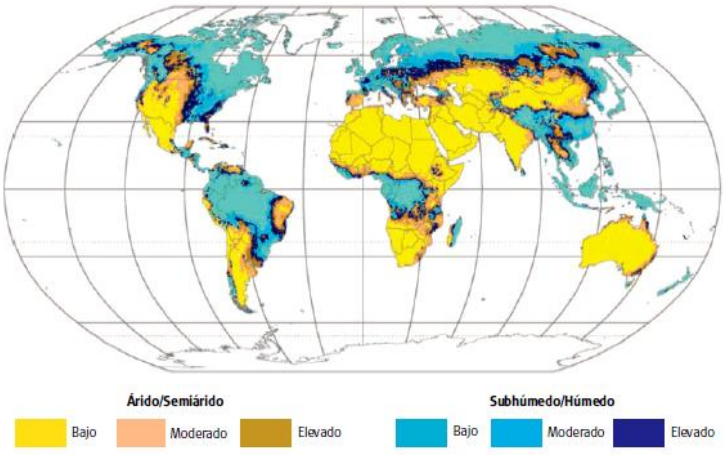


Fig. 1.1 – Índice de humedad climática (IHC) en el mundo. Fuente: http://wwdrii.sr.unh.edu/download.html

En la figura 1.2 se exponen las tendencias estimadas de crecimiento de la población mundial en millones de habitantes, el uso total del agua y el uso por sectores en millones de km^3.

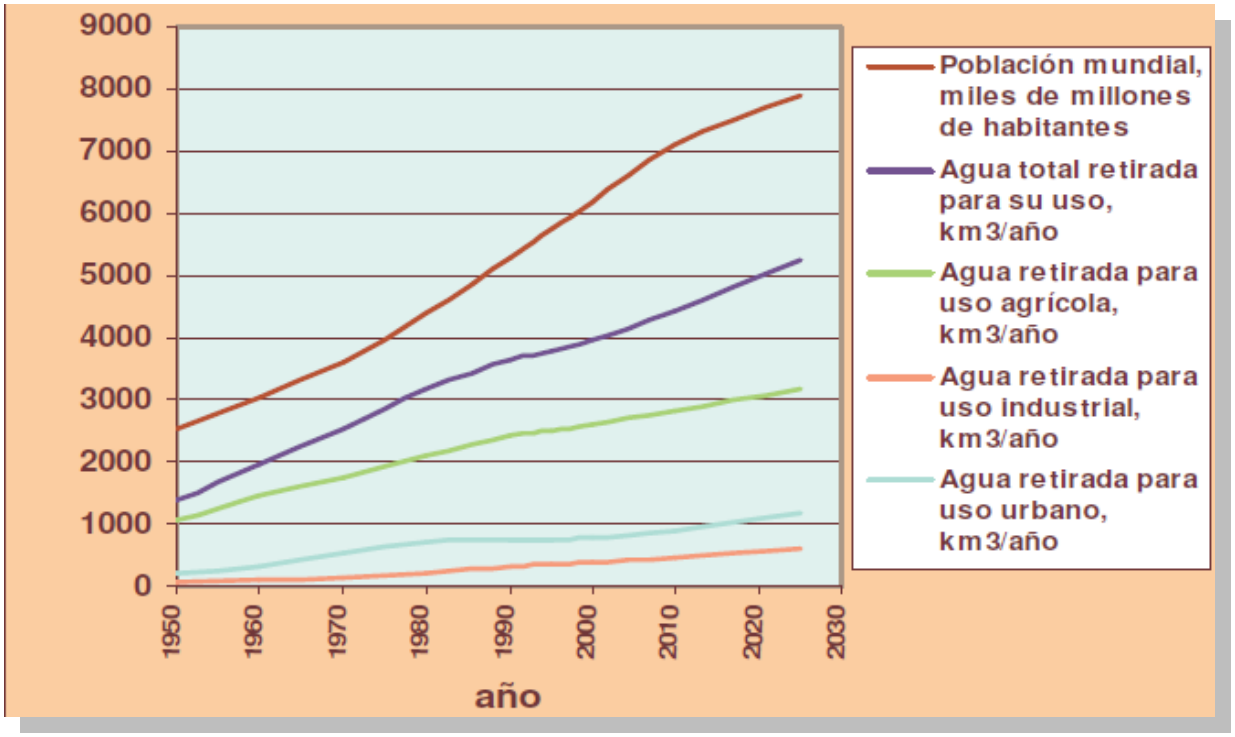


Fig. 1.2 – Tendencias de crecimiento de la población y el consumo de agua por sector.

Fuente: (Prats 2009)

Es evidente la tendencia marcada al incremento del consumo y al agravamiento de la situación, esperándose que la necesidad global anual de agua crezca en alrededor de 10-12% cada 10 años, alcanzando aproximadamente 5 240 km^3 en 2025.

En la Figura 1.3 se exponen los estimados de reducción del la disponibilidad de agua renovable por grupos de países. En los países desarrollados se debe alcanzar una estabilización en la disponibilidad en un valor alrededor del 50 % de la de 1950 a partir de las políticas para el uso racional de agua y de la implementación de tecnologías más eficientes. En los países en desarrollo la situación se agravará pudiendo llegar en 2025 a ser de entre un 10 y un 20 % la que tenían en 1950.

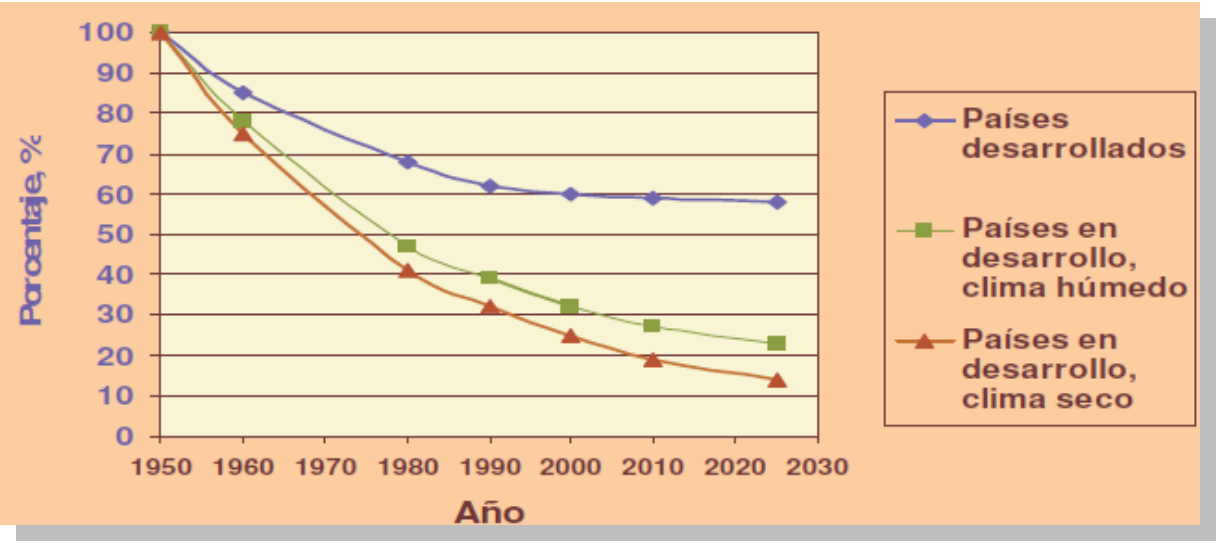


Fig. 1.3 – Reducción de la disponibilidad de agua.

Fuente: (Prats 2009)

Como consecuencia del crecimiento de la población, la disponibilidad media global por habitante disminuye rápidamente tal como se observa en la figura 1.4. , donde se muestra la evolución de la población, del agua total renovable per cápita, y del agua renovable disponible.

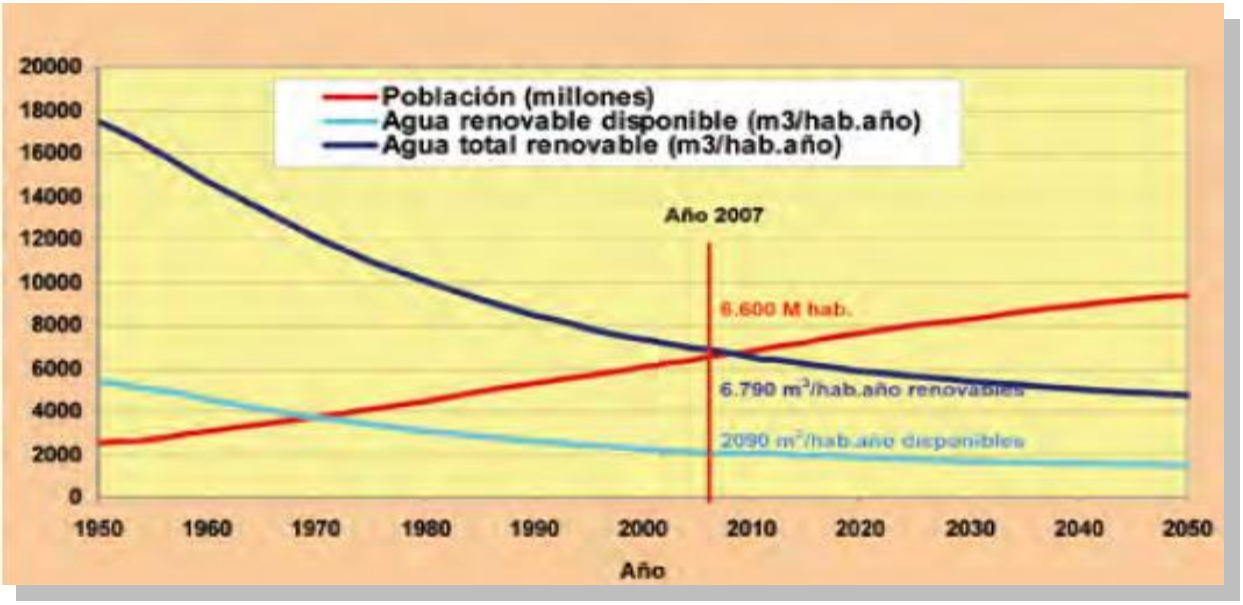


Fig. 1.4 Evolución del número de habitantes en el mundo y de la disponibilidad media de agua.

Fuente: ((Prats 2009)

Un índice adimensional muy significativo para calificar la situación de la problemática es la relación entre las necesidades reales de agua (considerando los índices de

industrialización y desarrollo, tecnologías disponibles, etc.) y los recursos disponibles, medidos en las mismas unidades. Se denomina Índice de Estrés Hídrico Relativo (IEHR).

• Si RWSI > 0,4 se dan condiciones de estrés.

• Si RWSI < 0,4 se dan condiciones de poco estrés

En la figura 1.5 se expone la distribución por cuenca del análisis de este, en la que se indica el porcentaje de población por encima o por debajo del umbral de 0,4 de estrés hídrico relativo.

En 1995 cuando la población mundial era de 5.600 millones de habitantes, 2.300 millones (41 %) vivían en cuencas con "estrés hídrico" (< 1.700 m^3 /hab.año), y de ellos, 1.700 millones en cuencas con < 1.000 m^3 / hab.año (problemas incluso con alimentación). Se estima que en 2025, con 8.000 millones de habitantes, más de 3.500 millones vivirán en cuencas con estrés hídrico y de ellos, 2.400 millones en cuencas con alto estrés hídrico (Prats 2009).

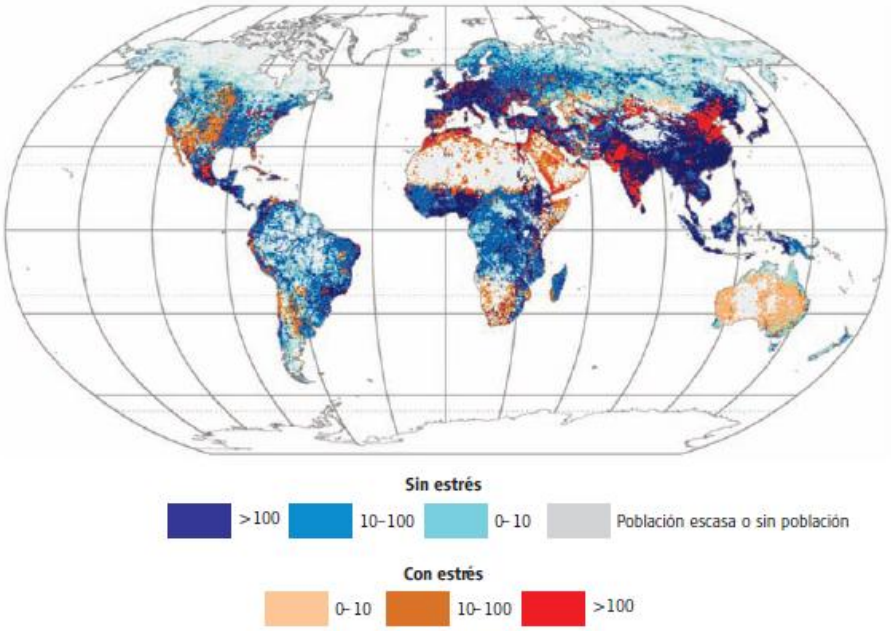


Fig. 1.5 – Distribución del Índice de Estrés Hídrico Relativo. Fuente: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2_section_2_es.pdf

1.2 – Caracterización de la problemática del agua en Cuba.

La situación de los recursos hídricos en nuestro país es caracterizada con precisión por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en su contribución al Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible. 2010 – 2015 (CITMA 2010).

Los recursos hídricos potenciales del archipiélago cubano se evalúan en un total de 38,1 km³. De estos, 6,4 km³ corresponden a aguas subterráneas, y 31,7 km^3 a superficiales.

Los recursos hidráulicos aprovechables se evalúan en alrededor de 24 km^3 anuales. De los cuales, el 75 % corresponde a las aguas superficiales y el 25 % a las subterráneas. Por su parte, los recursos hidráulicos disponibles ascienden a 13.68 km^3. La infraestructura hidráulica existente permite poner a la disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales, el 57 % de los recursos aprovechables.

En Cuba, los diferentes usos del agua no compiten entre sí pues existe un sistema de planificación anual y de control, que establece y vela porque se respeten las prioridades establecidas. En las que el abastecimiento a la población ocupa el lugar cimero. El principal instrumento para la administración del recurso lo constituye el Balance Anual de Uso del Agua. En la figura 1.6 se muestra el consumo de agua por sectores en Cuba, el consumo total del país se encuentra en el orden de los 5600 hm^3 anuales.

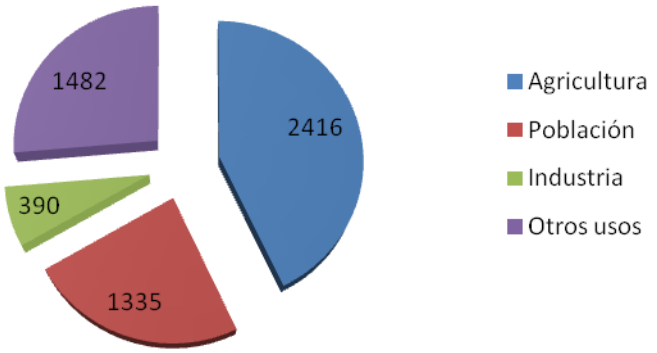


Fig. 1.6 – Consumo de agua en Cuba por Sectores (hm^3).
Fuente: CITMA 2004.

Según la disponibilidad real del recurso a partir de la infraestructura hidráulica creada, la población del país, y tomando como referencia las precipitaciones anuales, la disponibilidad nacional alcanza los 1 220 m^3/hab.año para todos los usos. Este mismo indicador respecto a los recursos hídricos potenciales, es de 3 400 m^3/hab.año, mientras

que con relación a los recursos hídricos aprovechables es de 2 140 m^3/hab.año. Esta clasificación sitúa a Cuba entre los países de baja disponibilidad per cápita (entre 1 000 y 5 000 m^3/hab.año), para cualesquiera sean los recursos empleados en las evaluaciones del indicador (potenciales o aprovechables), dada la lámina media anual de 1 335 mm.

El III Informe Nacional de Cuba al Comité de Revisión Implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía, se exponen las acciones que realiza el país para paliar los daños de las sequias que cíclicamente lo afectan y se muestra la tendencia a la reducción de las precipitaciones, lo que hace cada vez más importantes todos los esfuerzos que se realicen para utilizar más racionalmente el agua en todos los sectores.

Cuba ha estado sometida en el último decenio a varios episodios de sequía, que han determinado una limitada disponibilidad de agua. La situación ha llegado a ser crítica en algunos territorios por lo que se trabaja en aras de mitigar los impactos de este fenómeno climático. Se destaca el extraordinario evento de sequia iniciado en mayo de 2003 por el oriente del país, y que progresivamente se extendió por todo el territorio nacional hasta mayo de 2005, generando el déficit más intenso en los últimos 100 años. En la actualidad se ejecutan obras de trasvases interprovinciales hacia los territorios de baja disponibilidad relativa de agua.

En la figura 1.7 se puede apreciar el comportamiento de los niveles de agua embalsada en el país entre 2004 y 2006, la irregularidad de este y las variaciones entre un año y otro reafirman lo antes planteado, en el análisis se debe tener en cuenta que la capacidad de los embalses del país está en el orden de los 9 km^3 y la demanda anual en los 5.6 km^3.

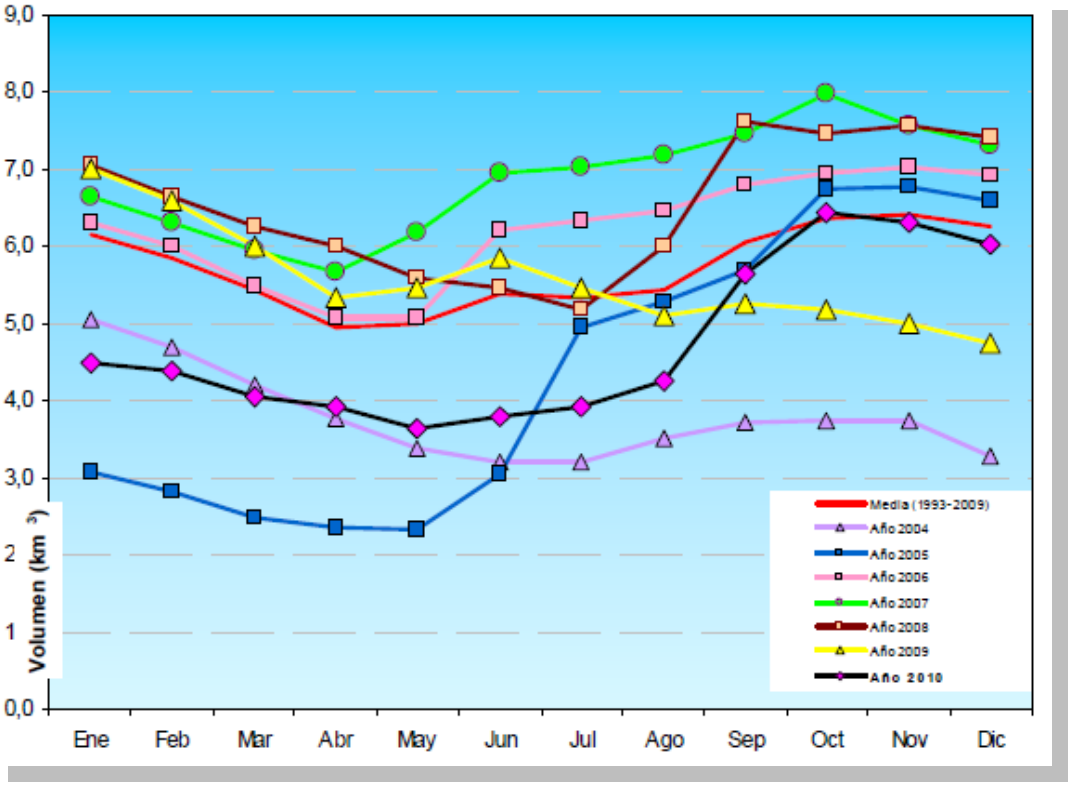


Fig. 1.7 – Comportamiento del agua embalsada en Cuba.

Fuente: Boletín Hidrológico Nacional. 2010.

La Huella Hídrica de la Producción es una medida del agua utilizada en diferentes países, así como un indicador de la demanda humana de los recursos hídricos. Está compuesta por el volumen de aguas verdes (lluvia) y azules (extraída) consumido para producir bienes agrícolas de los cultivos y ganado, el mayor uso del agua, así como las aguas grises (contaminadas) que genera la agricultura y los usos domésticos e industriales del agua

La Huella Hídrica de Cuba alcanzó en el Informe Planeta Vivo 2008, que se refería a datos del 2003, la cifra de 1 712 m^3 /habitante año y se coloco en el lugar número 30, en orden descendente. Del total de países involucrados en la evaluación, entre la de Finlandia de 1 727 m^3 /habitante año y la de Suiza de 1 682 m^3 /habitante año (WWF 2008).

Este resultado deja muy clara la tarea pendiente que tiene nuestro país en el aprovechamiento del agua lo que se expresa claramente en el Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible. 2010 – 2015 “Con base en el desarrollo hidráulico alcanzado, se considera que las disponibilidades básicas para el suministro seguro de agua y el desarrollo sostenible del país están creadas y en funcionamiento, y que los

principales problemas a resolver son los relacionados con la **eficiencia en el empleo del recurso (conducción, distribución, medición entre otros), y con la creación de una cultura social y empresarial para lograr su uso sostenible"** (CITMA 2010)**.**

La política del Estado Cubano en el uso racional del agua se expresa en la aprobación del Decreto – Ley 138 /1993 De las aguas Terrestres, en el que referente al uso racional de la guía se plantea los siguientes:

- Las organizaciones y comunidades deben realizar una gestión eficiente del agua a partir de los volúmenes aprobados para el consumo, evitando el desperdicio por salideros, filtraciones, uso indiscriminado en los procesos y servicios, por lo que es necesario controlar los indicadores de consumo para cada actividad a partir de las normas de consumo de agua para cada proceso, así como de los requisitos de uso.
- Promover el uso de tecnologías que sean bajas consumidoras del agua tanto en las nuevas inversiones como en los proyectos de mejora, teniendo en cuenta la reutilización de los residuales en el proceso o por otras organizaciones, o su tratamiento para el vertimiento en el lugar autorizado por el INRH.

En el Proyecto de Lineamientos de la política económica y social (PCC 2009) se establece cuatro líneas de acción que serán el eje de la estrategia nacional en el uso racional del agua, a continuación se exponen:

300. El balance de agua constituirá el instrumento de planificación mediante el cual se mida la eficiencia en el consumo estatal y privado, respecto a la disponibilidad del recurso.

301. Continuará desarrollándose el programa hidráulico con inversiones de largo alcance para enfrentar mucho más eficazmente los problemas de la sequía y del uso racional del agua en todo el país, elevando la proporción del área agrícola bajo riego.

302. Se priorizará y ampliará el programa de rehabilitación de redes, acueductos y alcantarillados hasta la vivienda, según lo planificado, con el objetivo de elevar la calidad del agua, disminuir las pérdidas, incrementar su reciclaje y reducir consecuentemente el consumo energético. Incluir la venta de herrajes y accesorios a la población.

303. En atención a propiciar una cultura para el uso racional del agua, estudiar el reordenamiento de las tarifas del servicio, incluyendo alcantarillado, con el objetivo de la disminución gradual del subsidio; así como reducir paulatinamente el derroche en su uso. Regular de manera obligatoria la medición del gasto y el cobro a los clientes estatales y privados.

Así mismo la Ley 81 Ley del Medio Ambiente del año 1997 plantea lo siguiente:

ARTÍCULO 92.- ***La gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos se realizará de acuerdo con las disposiciones siguientes:***

a) Es obligación de todas las personas naturales y jurídicas la protección y conservación de las aguas y de los ecosistemas acuáticos en condiciones que permitan atender de forma óptima a la diversidad de usos requeridos para satisfacer las necesidades humanas y mantener una equilibrada interrelación con los demás recursos naturales.

b) La gestión de todos los recursos naturales contenidos en los ecosistemas acuáticos respetará su equilibrio y el de los ecosistemas con los que esté relacionado.

c) Para asegurar un adecuado desarrollo del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él, se prestará especial atención a los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos.

1.3 – Fundamentos del uso eficiente del agua.

El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos, Baumann (1979) lo definió como “el uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad”, el uso eficiente del recurso es de suma importancia para la conservación. Al mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad.

El ciclo del uso del agua en cualquier actividad se puede caracterizar mediante cinco parámetros fundamentales (Tate 1991).

El uso bruto del agua (G): se refiere a la cantidad de agua total que se usa para llevar a cabo una actividad

Influjo (I): cantidad de agua "nueva" que se toma para la operación bajo consideración.

Recirculación (U): cantidad de agua usada previamente en la actividad.

Descarga (D): cantidad de agua que se permite salir de la actividad o proceso.

Consumo: cantidad consumida durante el proceso.

Los cinco parámetros básicos del uso del agua pueden ser combinados para formar indicadores de la eficiencia en el uso del agua:

T**asa de consumo** (TC): es un índice de la eficiencia del consumo. Mientras más baja sea esta tasa, más alta será la eficiencia de consumo de la planta. La tasa de consumo es algo más difícil de interpretar que la tasa de uso, a causa de problemas de medición. Dentro del contexto de una planta individual, el consumo de agua puede ser tomado como la cantidad de agua que entra al proceso de producción, que no regresa al punto de origen.

$$TC = (I - D) / I \qquad (1)$$

Tasa de uso (TU): se relaciona con el grado de recirculación en operaciones industriales. Conforme asciende la recirculación, también aumenta la tasa de uso, por lo que es un buen indicador para la eficiencia en el consumo del agua

Utilizando los símbolos definidos en el texto, el uso es igual a:

$$TU = (C / I) * 100\ \% \qquad (2)$$

Los siguientes principios de la eficiencia del uso del agua que han surgido de este capítulo son:

1. La eficiencia en el uso del agua incluye cualquier medida que reduzca la cantidad por unidad, que se utilice en una actividad dada, y que sea consistente con el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua.

2. El uso del agua en la mayoría de las actividades socio económicas puede variar ampliamente, dependiendo ello de la interacción de muchos factores.
3. La atención prestada a la eficiencia del uso del agua es directamente proporcional a los precios cobrados por el servicio.
4. El alza de precios conduce a un aumento en la atención a las características del uso del agua y, a largo plazo, a un uso más eficiente.
5. Cuando los precios del agua reflejan todos los costos sociales del desarrollo de suministros, se crean incentivos para la utilización eficiente y racional del recurso, reflejando su valor en la producción o en sus varios otros usos.
6. Las actitudes, los gustos y las preferencias del pueblo originan consideraciones de importancia para alcanzar un incremento en la eficiencia del uso del agua.
7. La eficiencia en el uso del agua es en parte una respuesta a los derechos de propiedad que prevalecen en la sociedad.
8. Cuando los recursos son evaluados correctamente en proporción a su contribución y su productividad, existe el incentivo, a través de las fuerzas de la oferta y demanda, para utilizar esos recursos eficientemente a través de la introducción de cambios tecnológicos.
9. La calidad y cantidad del agua están estrechamente entrelazadas, de tal forma que las acciones dirigidas hacia el incremento de la eficiencia del uso del agua pueden tener un impacto sobre su calidad, y viceversa.
10. Los pasos tornados para el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua deben ser formalmente evaluados comparándolos con los múltiples criterios existentes.

Los principios enunciados por Tate son resumidos por (Sánchez 2004) como sigue:

1. La eficiencia en el uso del agua incluye cualquier medida que reduzca la cantidad por unidad.
2. La cantidad de atención prestada a la eficiencia del uso del agua es directamente proporcional a los precios cobrados por el servicio. El alza de precios conduce a un aumento en la atención.
3. La eficiencia en el uso del agua es en parte una respuesta a los derechos de propiedad que prevalecen en la sociedad.

4. La calidad y cantidad del agua están estrechamente entrelazadas.

El Global Water Partnership (GWP 2001) plantea los siguientes principios:

1. El agua no debe obtenerse con fines de especulación o dejar que se desperdicie (realidad de uso).
2. El fin de uso, debe reconocerse y ser socialmente aceptable.
3. El agua no debe ser mal usada (eficiencia razonable).
4. El uso debe ser razonable comparado con otros usos.

Por su parte (Visscher et al 1999 y Sánchez et al 2003) establecen tres principios de gran importancia práctica.

1. El uso eficiente representa un recurso de agua en sí mismo.
2. Hacer más con menos agua, poniendo en práctica conceptos de eficiencia: esto indica prevención de la contaminación y gestión racional del recurso.
3. Conceptos integrados y procesos eficientes: están vinculados con los dos anteriores y relacionados a la prevención de la contaminación, recuperación y re-uso del recurso en ambientes urbanos y rurales.

Considerando los principios desarrollados, los programas de uso eficiente requieren un enfoque integrado, en el cual se considere un análisis multidimensional, orientándose hacia acciones que tiendan a reducir la cantidad de agua empleada en las diferentes actividades de los sistemas de agua (desde la micro cuenca hasta su descarga final en la naturaleza), en la perspectiva de su sostenibilidad. La definición de uso eficiente del agua implica toda actividad que esté relacionada con utilizar el recurso de una mejor manera, hacer más o lo mismo con menos cantidad y por eso frecuentemente esto es una “fuente de agua” por sí misma. Por lo tanto, se deben tomar medidas que permitan usar menos agua en cualquier proceso o actividad para la conservación y el mejoramiento de los recursos hídricos (Sánchez 2004).

El uso eficiente del agua plantea desafíos como la necesidad del seguimiento continuo y la evaluación del desempeño en el tiempo. *Medir es la clave en cualquier acción de uso eficiente del agua*. Solo así se puede conocer la realidad y se pueden establecer modelos para predecir y planear mejor el futuro, mediante una visión integral.

El uso eficiente del agua trae consigo múltiples beneficios para los diferentes sectores usuarios del agua. Entre estos se destacan: ahorro de dinero por inversiones o por pago de consumo, ahorros en el desarrollo y construcción de nueva infraestructura y un mejor manejo de sequías y cortes de suministro (Dickinson, 2003).

La Figura 1.8 ilustra las acciones clave a desarrollar en materia de uso eficiente del agua en cada una de las etapas del ciclo antrópico del agua.

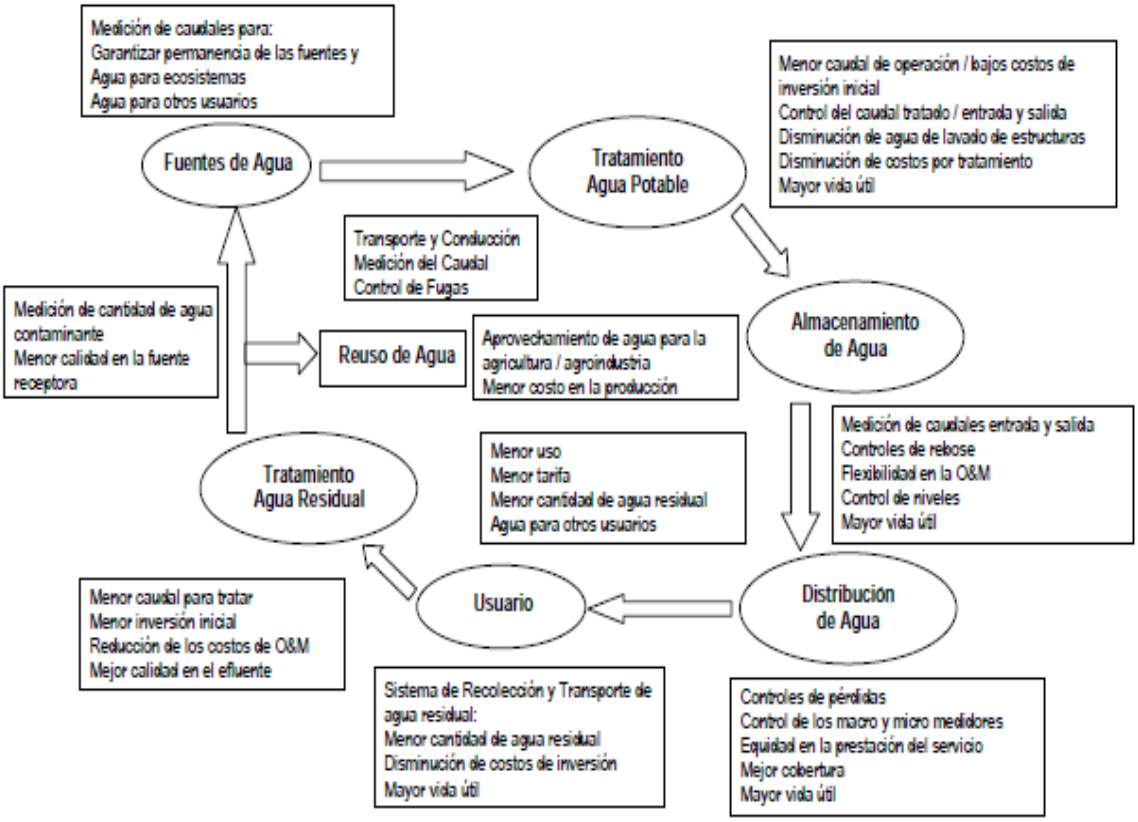


Figura 1.8. Uso eficiente del agua en el ciclo antrópico.

Fuente (Sánchez et al 2003)

La introducción del principio ***"quien contamina paga"*** ha estimulado a la industria a mejorar el uso eficiente del agua. Las principales acciones de uso eficiente del agua son: la recirculación en procesos de producción y la reutilización y la reducción del consumo interno. El uso eficiente del agua en la industria contribuye a una producción más limpia. Con los datos se pueden determinar los consumos mensuales, estaciónales y medios. La medición sirve para el control de equipos, accesorios, zonas de riego, baños etc. Es la forma de comparar y determinar si las medidas tomadas están siendo efectivas y eficientes. La medición puede aplicarse de tal manera, que se involucre a los trabajadores

y usuarios, y sirva también para motivar el uso eficiente de agua. Los beneficios estimados en la industria son: ahorro en energía, optimización de procesos, menos agua residual y, por lo tanto, menos necesidad de capacidad instalada en tratamiento y menor cantidad de agua facturada.

Una acertada definición sobre la gestión del agua es dada por (Francisco Martín et al 2006) "La gestión del agua supone actuar sobre el manejo de los recursos hídricos, o sea los cursos de agua o la demanda y sobre las infraestructuras hídricas y recursos económicos y humanos disponibles. La correcta gestión debe incorporar elementos de equilibrio económico del servicio y elementos para poder mejorar continuamente, la calidad interna y externa de la organización".

Los autores la dividen en cuatro etapas : la gestión de provisión mayorista de las fuentes de abasto hacia los consumidores, la gestión de distribución del agua, la gestión del agua dentro de la organización o la comunidad donde se utiliza y la gestión de las aguas residuales producto de los procesos que en ellos se desarrollan.

También definen el sistema de gestión del agua en una organización empresarial como "una parte de la gestión general de la organización que incluye la estructura organizativa, planificación, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implantar, revisar y mantener la política sobre el ahorro y uso del agua y forma parte de su sistema de gestión ambiental" y establecen sus objetivos como sigue:

La necesidad de tomar medidas para la conservación de este recurso tan importante para la vida.

El agua debe ser reciclada y reutilizada dentro de las propias producciones, y cuando finalmente deban ser dispuestas como un efluente no deben causas impacto negativo sobre el Medio Ambiente de acuerdo al cumplimiento de los aspectos legislativos vigentes.

Las aguas tanto residuales como para su uso en la industria y los servicios deben ser controladas desde los puntos de vistas de sus cantidades y de sus calidades.

Es necesario particularizar cada utilización del agua para decidir la calidad que se requiere y su volumen.

El agua debe verse vinculada a los consumos de energía, ya que de un aumento de su consumo, o un mal tratamiento o utilización de esta, es responsable de un aumento

considerable de los gastos energéticos de las empresas, para lo que recomendamos las siguientes acciones:

- Identificar los puntos que signifiquen ahorros inmediatos con pequeñas inversiones.
- Localizar posibles ahorros de mayor cuantía que requieran inversiones y evaluar su rentabilidad.
- Crear una cultura y educación empresarial sobre la necesidad del uso racional del agua
- Evitar su contaminación con residuales de diferentes tipos.

1.4 – Estrategias para el uso eficiente del agua.

1.4.1 – Estrategia propuesta por Centro Nacional de Producción Más Limpia de Colombia (Montaño 2002).

La estrategia propuesta sigue las etapas habituales en los programas de producción más limpia que se exponen en la Fig. 1.9

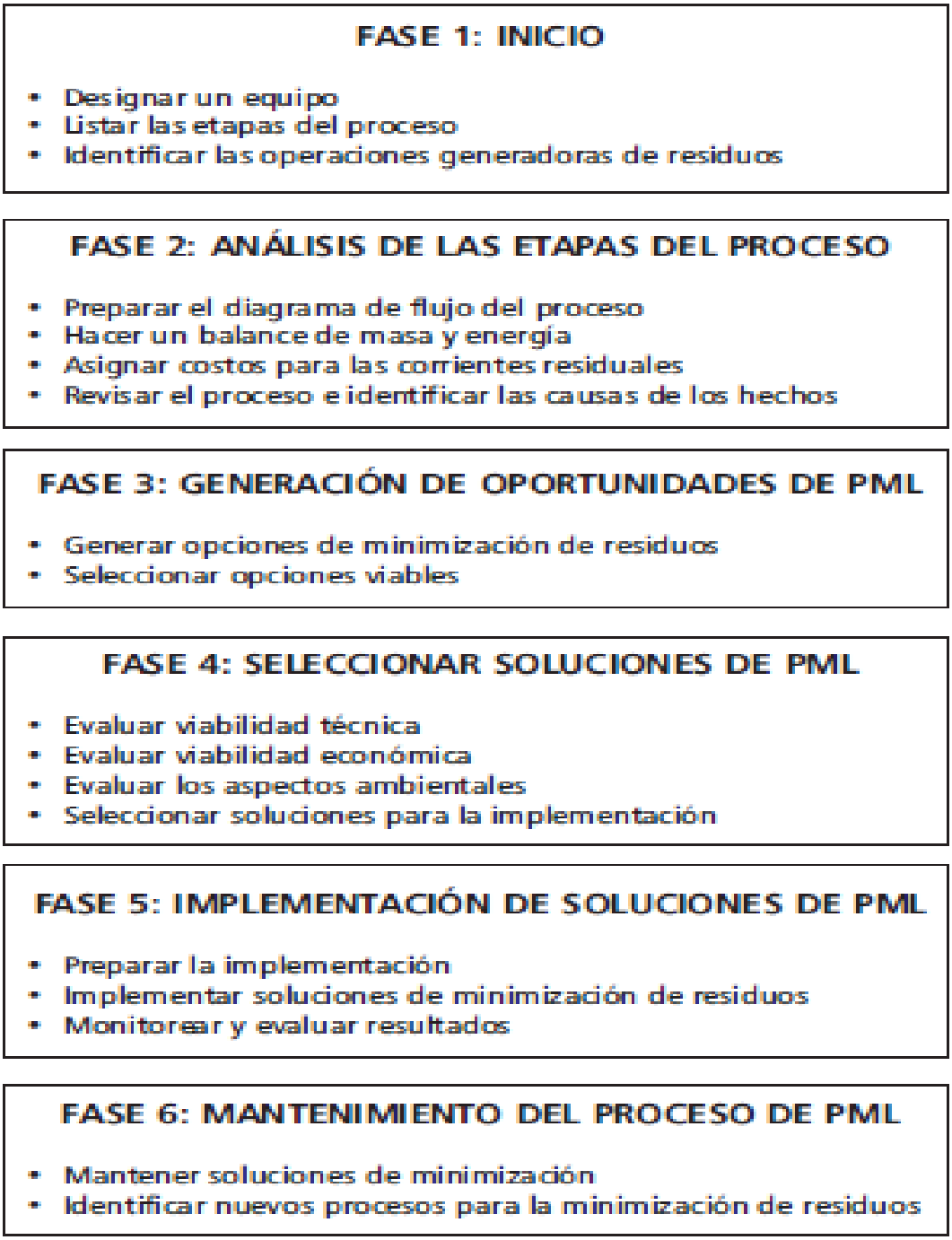


Fig. 1.9 – Etapas de una estrategia de producción más limpia.

Fuente: (Montaño 2002).

El programa se propone se desarrolla en seis fases fundamentales:

1.4.1.1 – Fase I. Inicio

Esta fase tiene dos etapas:

1. Designación de un equipo: El equipo designado debe contar con el apoyo de la gerencia, contar con la suficiente autoridad para proponer la implementación de cambios, Debe ser debidamente entrenado en Producción Más Limpia, uso del agua y técnicas administrativas, de manejo de proyectos y trabajo en equipo, ser capaces de identificar oportunidades, desarrollarlas, implementarlas y difundir sus resultados y tiene la responsabilidad de obtener las metas establecidas. La primera tarea de este equipo es hacer un diagnóstico preliminar y establecer las metas.
2. Enumerar absolutamente todas las etapas del proceso o sitios donde hay uso o consumo de agua: Se listaran todas las etapas del proceso y en ellas se identificarán las que usan o consumen agua y los sitios de la empresa en donde se usa agua. Se comenzará por los servicios industriales por ejemplo: calderas, sistemas de enfriamiento, aire acondicionado, hidrantes, sistemas contra incendios, etc. Luego se listarán los servicios sanitarios, cocinetas, cocinas, laboratorios, lavado de vehículos, riego de jardines, lavado de pisos, etc. Se listarán también los almacenamientos como sistemas contra incendios, almacenaje aguas lluvias, etc.

1.4.1.2 - Fase II. Análisis de las etapas del proceso.

Esta fase cuenta con nueve etapas.

1. Identificar el sistema: El objetivo de esta etapa en la auditoria de agua, es identificar cada faceta y componente del sistema de distribución del agua y así definir el sistema como un todo:
   - Identificar todas las entradas y salidas de agua.
   - Identificar todos los elementos de distribución del sistema tuberías de distribución (caliente, fría, etc.), medidores, almacenamiento, extracción.
   - Identificación de toda el agua usada en el predio. Producción, servicios industriales (enfriamiento, calentamiento, etc.), servicios domésticos, hidrantes y

sistema contra incendios, residuales (industriales y domésticas), lluvias, consumida en el proceso, etc.

- Se contabilicen tanto los suministros medidos como los no medidos.
- Se identifiquen todos los puntos del sistema donde el agua puede ser extraída. Definir los requerimientos de agua para cada proceso tanto en calidad como en cantidad.
- Conocer el edificio: Planos de instalaciones hidráulicas. Tipo de fuente de abastecimiento. Diámetro de la toma. Longitud aproximada. Ubicación de las principales válvulas de control y los cambios de diámetro. Principales puntos de consumo.
- Edad y estado de la infraestructura. Tipo de proceso, necesidades teóricas.

2. Describir el sistema. Esta investigación de componentes debe aportar suficiente información como para asignar objetivos específicos para un programa de uso eficiente del agua. Se deben incluir:
   - Una descripción detallada del sistema de distribución del agua y un croquis para efectuar un inventario completo.
   - Integración de un inventario completo, incluyendo descripciones de toda el agua usada en el predio.
   - Esbozo de procedimientos para contabilizar toda el agua empleada en el predio.
   - Perfil de procedimientos para desarrollar una lista de potenciales técnicas de reducción del agua, que pueden aplicarse a procesos o áreas específicos, o al predio como un todo.
   - Esbozo de procedimientos para diseñar e implementar un programa de uso eficiente.
3. Definir el sistema.
   - Inspección visual del sitio. Inspección de los planos y diagramas de plomería, y traslado de la información clave a los planos base. Investigación exhaustiva del sitio para verificar información. Elaboración de croquis y diagramas, en caso de no existir planos. Instalar medidores y revisar los existentes.
   - Determinar consumos horarios, diarios, mensuales, estacionales y medios.

- Actualizar la información.
- Medir todas las corrientes: entradas, salidas y consumos.

4. Realizar un eco-mapa del sistema. Se debe preparar un plano que muestre todos los medidores dentro de la instalación, junto con una representación esquemática de los medidores en uso, que identifique a cuales edificios e instalaciones controlan. Los planos de cada sección deberán mostrar los principales elementos del sistema de distribución del agua. Se debe tener una descripción de los medidores mostrados en los diagramas, incluyendo la fuente de suministro, los intervalos de lectura y el propósito de tal medición.

5. Procedimientos para estimar flujos. Los flujos pueden estimarse mediante aforos de campo, los que pueden ser más apropiados en determinados tipos de consumos. Los métodos de aforo en campo incluyen:

   - Medidores de flujo, ya sea en el sistema de distribución de agua, o en el equipo que emplea el agua (eje..., tubería de enfriamiento de agua, riego en jardines).
   - Medición del agua extraída para determinada operación, mediante cubeta y cronómetro.
   - Medición del volumen/frecuencia del agua empleada para determinada operación.
   - Los métodos indirectos para medir el caudal, tales como registrar la operación de las bombas de agua y pruebas de desplazamiento en tanques de almacenamiento, probablemente aporten datos de menor calidad.

7. Realizar mediciones. Instalar medidores en todos los subsistemas a la entrada y salida de cada proceso y realizar un programa de lectura de medidores o contadores. Las lecturas generalmente se deben tomar dos veces al día, en la mañana antes de que inicie la actividad principal, y por la tarde, al concluir la rutina cotidiana de trabajo, durante un periodo continuo de varias semanas, incluyendo los fines de semana en la mayoría de los sitios. Estas lecturas diarias deben de registrarse para poder establecer flujos base diurnos y nocturnos. Conviene señalar que en algunos sitios las lecturas deben de ser tomadas más frecuentemente, para incrementar la precisión.

8. Realizar balance de agua. El objetivo de un balance de agua es acumular todos los volúmenes de agua manejados, individuales y tipificados; y compararlos contra el volumen de agua suministrado registrado por el medidor principal. El primer paso en la preparación del balance hídrico, consiste en examinar la instalación como un todo. Aunque, en la mayoría de los casos, pudiera ser ventajoso la división en sub-zonas más pequeñas de uso del agua, que se midan individualmente. Estas se eligen de manera que representen áreas lógicas de consumo de agua, mientras que respeten límites geográficos. Cuando los edificios son contiguos entre sí, pero tienen medidores separados o distinta gerencia administrativa, deben dividirse para los propósitos del balance de agua.

   El balance hídrico de toda la instalación puede presentarse con figuras que muestren los medidores y las sub-zonas, y en tablas que comparen los usos individuales del volumen de agua que ingresa, respecto al volumen total usado en cada sub-zona.

9. Categorizar o priorizar. Se deben identificar los puntos críticos que deciden el consumo de agua de la instalación y a los que más atención se debe prestar en el programa de ahorro. Se deben comparar los indicadores de consumo con los que internacionalmente se alcanzan en la industria en cuestión.

1.4.1.3 - Fase III. Generación de oportunidades de Ahorro y uso eficiente del agua

En esta fase se identifican las opciones aplicables para utilizar eficientemente el agua. Aunque existen múltiples medidas que se aplican frecuentemente con este propósito hay tres generales de gran importancia.

Sistemas de rehúso y reciclaje

Los sistemas de rehúso o reciclaje son aquellos que emplean agua que ya fue antes usada por otra operación o proceso; sin embargo, debe considerarse que en varios casos será necesario algún tratamiento previo a este segundo uso.

Por ejemplo, un estudio piloto identificó las siguientes oportunidades al respecto: El agua usada por algunos equipos de aire puede reusarse en procesos de humidificación. Las instalaciones de reciclaje o rehúso bien sincronizadas y con apropiado mantenimiento, permiten reducir los consumos de agua sin afectar el rendimiento de la institución.

Para reducir los consumos hay que considerar tanto los sistemas de rehúso como los de reciclado, especialmente cuando se estén descargando volúmenes significativos de agua no contaminada a la red de drenaje municipal.

Cambios de proceso

Un cambio de proceso equivale a reemplazar la forma en que se usa el agua, con alguna otra que hace la misma función de manera distinta. El cambio de proceso se puede referir también a eliminar por completo cierta práctica de uso de agua.

Los enfoques básicos para ahorrar cantidades significativas de agua incluyen el mantenimiento regular al equipo, la conversión a procesos químicos o secos, y la eliminación de unidades de aire acondicionado que usan agua. Se debe considerar el convertir todos los equipos de enfriamiento por agua, a sistemas de enfriamiento a circuito cerrado. Esta lista es para fines ilustrativos y no es exhaustiva puesto que los pasos para cambiar algún proceso deben ser específicos para cada sitio.

Fuentes de agua alternas

Cuando el agua necesaria para la operación no requiere grado de potabilidad, ni debe ser aportada por la red municipal, entonces puede haber posibilidad de grandes ahorros, al usar una fuente de abastecimiento diferente. Las fuentes alternas pueden incluir la captación directa de aguas superficiales, acuíferos subterráneos, y la captación de escurrimientos de lluvias.

Cambio en los hábitos de consumo de los usuarios

Los cambios en los hábitos de uso del agua de la gente pueden incluir:

- Organizar el trabajo para que se disminuyan las perdidas.
- Revisar que estén totalmente cerradas las llaves de grifos y que no queden abiertas innecesariamente.
- Reportar al personal de mantenimiento correspondiente, cualquier fuga o falla en los inodoros, mingitorios, grifos, bebederos y demás.
- Aislar las tuberías de agua caliente que alimentan lavabos o regaderas, para disminuir el tiempo en que se deja correr el agua hasta que se pone caliente.

- Ajustar el riego de prados y jardines a calendarios y horarios con baja evaporación en el día.

1.4.1.4 - Fase IV. Seleccionar soluciones

Un programa de ahorro y uso eficiente del agua, en una empresa se implementa para alcanzar distintos objetivos, entre los que se pueden encontrar los siguientes:

- Incrementar la participación de los usuarios del agua.
- Disminuir el agua requerida para un proceso y, por consiguiente, generar ahorros en las erogaciones (indirectamente se obtiene un beneficio económico y, lo más importante, se disminuyen los impactos ambientales).
- Encontrar y proponer soluciones a largo plazo.
- Obtener una mejor imagen pública. La administración de la empresa o el área encargada juega un papel sumamente importante en el establecimiento de los objetivos del programa.

Después de haber identificado los puntos de consumo en la instalación y establecido categorías entre estos, se deben proponer las medidas y las prácticas de ahorro. Cuando se concluya la lista de medidas disponibles, deben evaluarse los impactos intangibles, así como los impactos financieros y de ahorro de agua de cada una de estas, contra los objetivos o las metas establecidas para el programa de uso eficiente de agua del inmueble. Conviene elaborar una tabla comparativa de las medidas factibles contra los posibles impactos de cada una de ellas.

Se debe realizar el análisis costo beneficio de cada una de las medidas según la siguiente ecuación:

$$BNTA\ (\$/año) = AECA\ (\$/año) - CACO\ (\$/año) - CAOA\ (\$/año) \quad (3)$$

Donde:

BNTA - Beneficio total anual neto, ($/año)

AECA - ahorros esperados en costos anuales, relativos a la operación actual, en $/año (disminuciones en pagos de cuentas por abastecimiento de agua y por alcantarillado y posiblemente en energía).

CACO - costos amortizados de capital de operación, en ($/año), incluyen a los equipos, materiales, e instalaciones que requiere esa medida, amortizados a lo largo de su vida útil esperada.

CAOA - costos adicionales de operación anual, sobre la operación actual, en ($/año), corresponden a los extras que resultarían para mano de obra, mantenimiento, energía, materiales y disposición de residuos, si se implementa tal medida.

Igualmente hay que evaluar la viabilidad técnica, los impactos sociopolíticos de las medidas y su impacto ambiental y entonces seleccionar las que se aplicaran.

1.4.1.5 - Fase V. Implementar soluciones

La administración y el personal del programa de uso eficiente del agua tendrán que elaborar un calendario de implementación de las medidas de reducción de consumos de agua. Lo que incluye a los distintos componentes del programa y las actividades de seguimiento, basadas en:

- Las metas de ahorros de agua.
- El presupuesto disponible y proyectado para el año actual y para años futuros.
- El personal disponible para las actividades de evaluación.

La evaluación rutinaria del progreso en ahorros de agua puede revelar las áreas donde las medidas fueron exitosas o ineficaces. También puede indicar donde se requieren modificaciones al programa.

La gerencia del programa y el personal pueden realizar y evaluar las modificaciones, basados en el examen de los registros de los medidores principales (lecturas de contadores volumétricos), así como en los registros de distintos medidores internos, para determinar los ahorros globales de agua y los ahorros en subáreas individuales.

Rutinariamente deben enviarse a la gerencia del inmueble los informes de la eficacia del programa y a su vez a los usuarios, para animar mayor participación.

Para motivar e incentivar más a las demás personas de la organización, la mejor forma es contando los buenos resultados y mostrando que si se puede y que todos pueden colaborar

1.4.1.6 - Fase VI. Mantener el proceso

El proceso de ahorro y uso eficiente del agua es de nunca acabar, es una actividad continua y permanente.

La evaluación rutinaria del programa ayudará a identificar cuales medidas no son efectivas y que eventualmente pudiera reemplazarse o modificarse.

Antes de implementar medidas de reemplazo, estas deben evaluarse exhaustivamente, mediante análisis de impacto y de costo-beneficio.

1.4.2 - Metodología propuesta por el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) de España (Muños 2010).

El ciclo de mejora de mejora continua propuesto en esta metodología se expone en la figura 1.3.

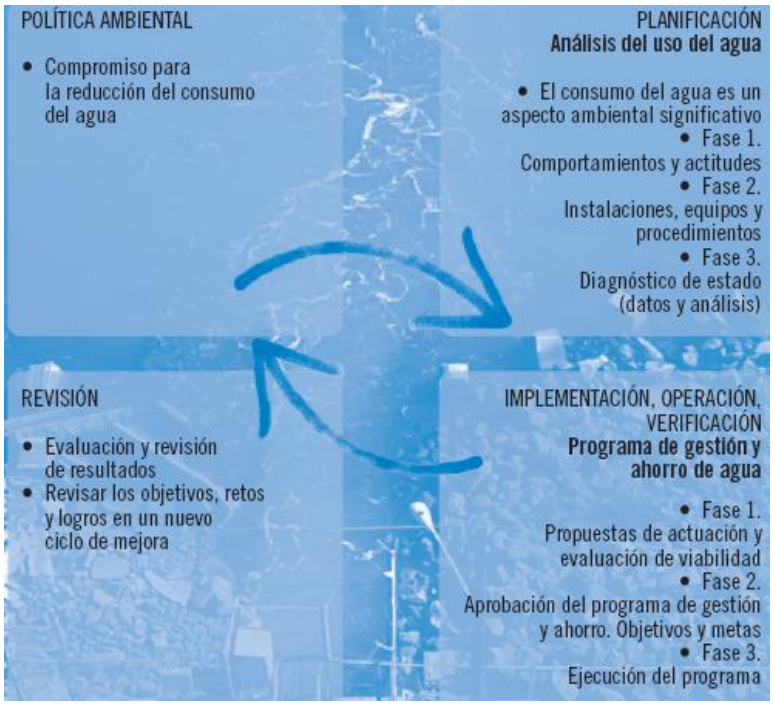


Fig. 1.10 - Ciclo de mejora continúa:

Fuente (Muños 2010)

En la figura se puede apreciar que se divide en cuatro etapas, dos de ellas de tres fases, que no difieren en gran medida de la metodología descrita en el acápite anterior.

1.4.3 - Metodología propuesta por el Gobierno de Carolina del Norte.

En esta metodología se proponen seis etapas:

1. Establecer las metas y compromisos
2. Línea de apoyo y recursos
3. Realizar una auditoría de agua
4. Identificar las opciones para la gestión del agua
5. Preparar un plan y calendario de aplicación
6. Seguimiento de los resultados y dar a conocer el éxito

Como detalle interesante en este manual se presenta el ejemplo de eco-mapa que se expone en la Figura 1.11.

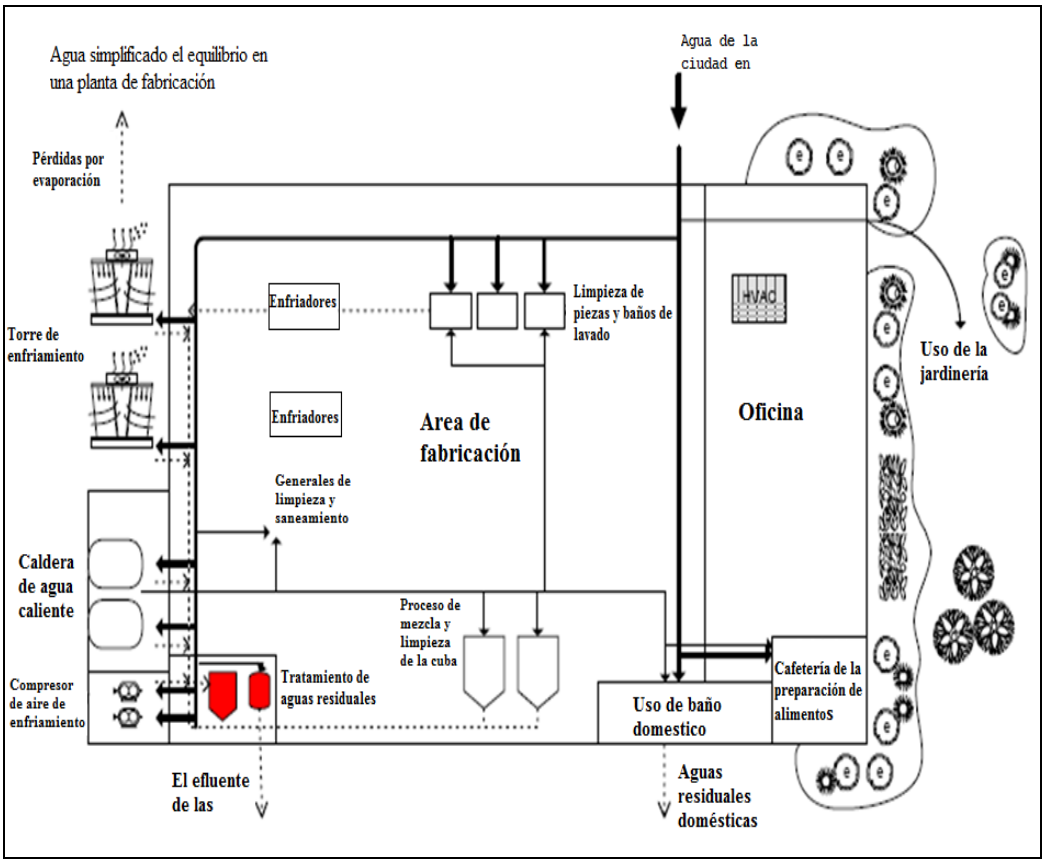


Fig. 1.11 - Ejemplo de eco-mapa de flujo de agua.

Fuente *(Manual de Eficiencia de Agua para las instalaciones de Comercial, Industrial e Institucional. 2009)*

Además se ofrece el siguiente ejemplo de balance de agua para una industria:

Tabla 1.1 - Ejemplo de balance de agua.

RESUMEN EL BALANCE DE AGUA		
FUENTES DEL USO DEL AGUA	**GALONES POR AÑO**	**% DEL TOTAL**
Torres de enfriamiento y calderas	7966000	38,3
Proceso de uso: Partes y componentes del sistema de limpieza	3848000	18,5
Domésticos: grifos, inodoros y duchas	3536000	17
Refrigeración: compresores de aire y bombas	2388000	11
Jardinería	832000	4
Mantenimiento, saneamiento y lavado en general	561600	2,7
Fugas detectadas	416000	2
Preparación de alimentos, lavavajillas	312000	1,5
SUBTOTAL	19859000	95,5
TOTAL DE AGUA ADQUIRIDOS	20800000	100
NO CONTABILIZADO	941000	4,5

Fuente (Manual de Eficiencia de Agua para las instalaciones de Comercial, Industrial e Institucional. 2009)

También se exponen ejemplos de balances de agua promedio para diversas instalaciones:

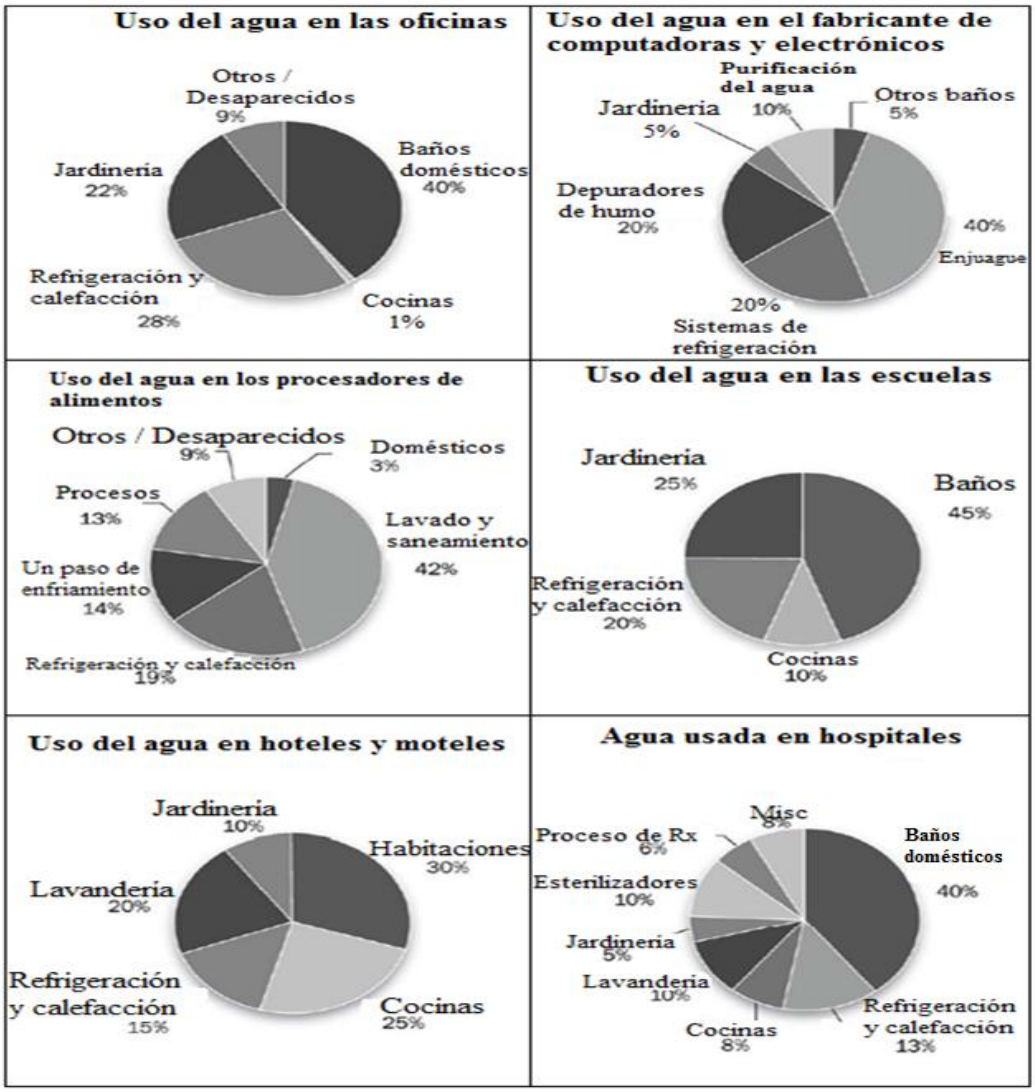


Fig. 1.12 - Balance del uso del agua en diferentes instalaciones.

Fuente: Manual de Eficiencia de Agua para las instalaciones de Comercial, Industrial e Institucional. 2009

1.5 - Uso del agua en la fabricación de cemento.

Las fábricas de cemento son a veces grandes consumidores de agua, pero el proceso tecnológico no produce contaminación del agua. En las fábricas de cemento se necesitan unos 0,6 m³ de agua por tonelada de cemento para la refrigeración de las máquinas. La mayor parte de esta agua se encuentra en circulación, por lo que sólo hay que reponer las pérdidas. En las instalaciones que trabajan con el método seco también se consume agua para la refrigeración de los gases de escape de los hornos, pudiéndose calcular un consumo neto aproximado de 0,4 a 0,6m³ de agua por tonelada de cemento. En las

instalaciones que trabajan con el método húmedo se necesita aproximadamente otro m^3 por tonelada de cemento para la molienda del lodo. Esta agua se desprende de nuevo por evaporación.

En general se puede conseguir una reducción del consumo de agua aumentando la proporción de agua en circulación o manteniendo las pérdidas de agua al mínimo posible.

El agua sanitaria acumulada requiere conducción y gestión especiales, debido a la contaminación producida por la incorporación de materias extrañas como microorganismos, nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas que al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables y productos químicos (detergentes) que deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho, tanto dentro de, cómo entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO_5 y DQO. La DBO_5 es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, el DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; el pH puede variar de 6,5 a 8,0.

Conclusiones parciales:

1. El ahorro de agua es una necesidad de primer orden en Cuba y en el mundo.
2. La gestión eficiente del agua se basa en principios de aplicación general y entra en el enfoque de Producciones Más Limpias.
3. En la fabricación de Cemento el agua no es un insumo de alto costo relativo, por lo que no es usual que las fábricas de cemento tengan estrategias particulares para ello.

Capítulo II.

"El hacer bien a villanos es echar agua en el mar."

Miguel de Cervantes

CAPÍTULO 2- Consumo de agua en Cementos Cienfuegos SA

La fábrica se ubica en el Municipio Cienfuegos. El 8 de marzo de 1980 comienza la explotación del primero de los tres hornos de la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cemento “Karl Marx”, fue inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la República Democrática Alemana Eric Honecker. La tecnología de producción es de vía seca. La Fábrica la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 ton/año de clinker (tres hornos rotatorios de 500 000 ton/año de clinker).

Después de 21 años de explotación., en el año 2001 se decide la constitución de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S. A. que comienza con un proceso de mantenimiento general a la Línea 1, continuando con la rehabilitación y modernización de la Línea 3, para restablecer su capacidad productiva y alcanzar su capacidad de diseño. En noviembre del 2004 se realiza la puesta en servicio de la Línea 3.

El comportamiento productivo de la Fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción de 1 012 322 Ton, el 2008 1 016 400 Ton y el 2009 cerró con 1 023 479 Ton para un cumplimiento del 103%. En el mes de Diciembre de este año se implantaron nuevos record históricos de producción de clinker para un mes. En el año 2010 pasa a formar parte del Ministerio de la Construcción.

Dentro de la reparación capital se le dio solución a los principales problemas ambientales que se presentaron durante su funcionamiento, particularmente a las emisiones de polvo y hoy es una empresa del territorio de buen desempeño ambiental y puntera en la asignación de recursos para mejorar su desempeño ambiental. Esto lo demuestra en la obtención de los siguientes reconocimientos:

1. Administración responsable con el medio Ambiente(CITMA)
2. Certificación de la NC ISO :14001 del 2004
3. Reconocimiento Territorial de la protección de la capa de Ozono , (Libres de CFC), (CITMA)
4. Reconocimiento Nacional de la protección de la capa de Ozono otorgado por la OTOZ(Oficina Técnica del Ozono)

5. Validación del proyecto de MDL(Mecanismo de Desarrollo Limpio), validado por UNCCC(Comisión de las Naciones Unidas para el Cambio Climático)

Esta importante instalación industrial, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros, al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua, al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico, al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, encontrándose ésta aproximadamente a 14 Km. de la fábrica. (Fig. 2.1)

Fig. 2.1 Mapa satelital de la fábrica de Cementos Cienfuegos SA

Hidrología.

La instalación se localiza en los límites de las cuencas subterráneas CF 6, Cienfuegos y CF 7, Cumanayagua, estas cuencas tienen una profundidad de yacencia de las aguas entre 5 a 10 m, pudiendo oscilar hasta 2 m con el ciclo hidrogeológico. En ambas cuencas existen reservas de agua subterránea.

En las áreas del molino del carbón y el secador los niveles de agua subterránea se mantienen estables a 3 m y a 3.5 – 4 m respectivamente. Esto no interfiere con los niveles de cimentación. Con respecto a la Clasificadora los niveles de agua están 8.55 m por lo que la cimentación del objeto no está influida por las aguas subterráneas. (Fuente: Estudio Geotécnico para el molino, secador y clasificadora. ENIA No. 9 abril 2002)

Sobre áreas de la cuenca hidrográfica Caunao, se encuentra la mayor cantidad de instalaciones de producción y apoyo a la producción de la fábrica, constituyendo esta cuenca la de mayor incidencia ambiental negativa, sobre el medio natural y el medio social, provocadas por la elaboración del cemento, aunque es necesario señalar, que también se notan afectaciones en áreas muy cercanas a la fábrica y que se localizan sobre la cuenca del río Arimao.

2.1- Descripción del proceso productivo.

Para la producción de cemento Portland se requiere del empleo de las materias primas fundamentales (caliza, marga y arcilla o correctores), que dan origen al clinker y el uso posterior de aditivos (yeso y puzolana, toba), las cuales al molturarse con éste dan como resultado el producto final, cemento.

La caliza y la marga son los materiales que se utilizan en mayor cantidad y contienen un alto porciento de Carbonato de Calcio, óxido de Alúmina, Sílice, etc. Así mismo poseen productos alcalinos como el potasio y el sodio. Para producir el cemento se necesita una composición química que los elementos de la marga y la caliza, por sí solas no poseen en la cuantía porcentual exigida, lo cual obliga a tener que introducir una materia prima adicional, la arcilla; la cual incorpora la alúmina, la sílice y el óxido Férrico deficitarios en los primeros para el completamiento de dicha composición. Antes del proceso productivo estas materias primas reciben los siguientes tratamientos:

La caliza es extraída por explosivos, transportada, triturada y almacenada.

La marga también es extraída a voladura con el empleo de explosivos, posteriormente es transportada, triturada, secada, almacenada y finalmente dosificada.

Los correctores se extraen con Bulldozer (generalmente) y transportados a la fábrica siguiendo el mismo curso que la marga.

Una vez establecidas las proporciones, los tres materiales son dosificados donde además de pulverizarse son sometidos a un proceso de secado a fin de eliminar la humedad residual.

Combinados en determinadas proporciones, los Óxidos de Calcio, silicio, aluminio y hierro son llevados a un horno rotatorio, en el cual avanza en contracorriente con los gases producidos por la combustión de carbón, Petcoke o combinación de ambos, y crudo cubano.

El calor suministrado por los gases de combustión provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que así se descompone en CaO y CO_2, la pérdida de agua de constitución de la arcilla que proporciona la alúmina y sílice, la fundición de óxidos de hierro y la elevación de temperaturas hasta los 1 700 ^{o}C aproximadamente. Alcanzadas estas condiciones los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el clinker, como producto fundamental a la salida del horno.

Al final del proceso, el clinker producido en el horno se muele y mezcla, normalmente en molinos de bola, junto con yeso para formar el cemento. También es usual agregar otros componentes a la mezcla, tales como puzolana, toba, consideradas como adiciones activas, o calizas. (Fig. 2.2)

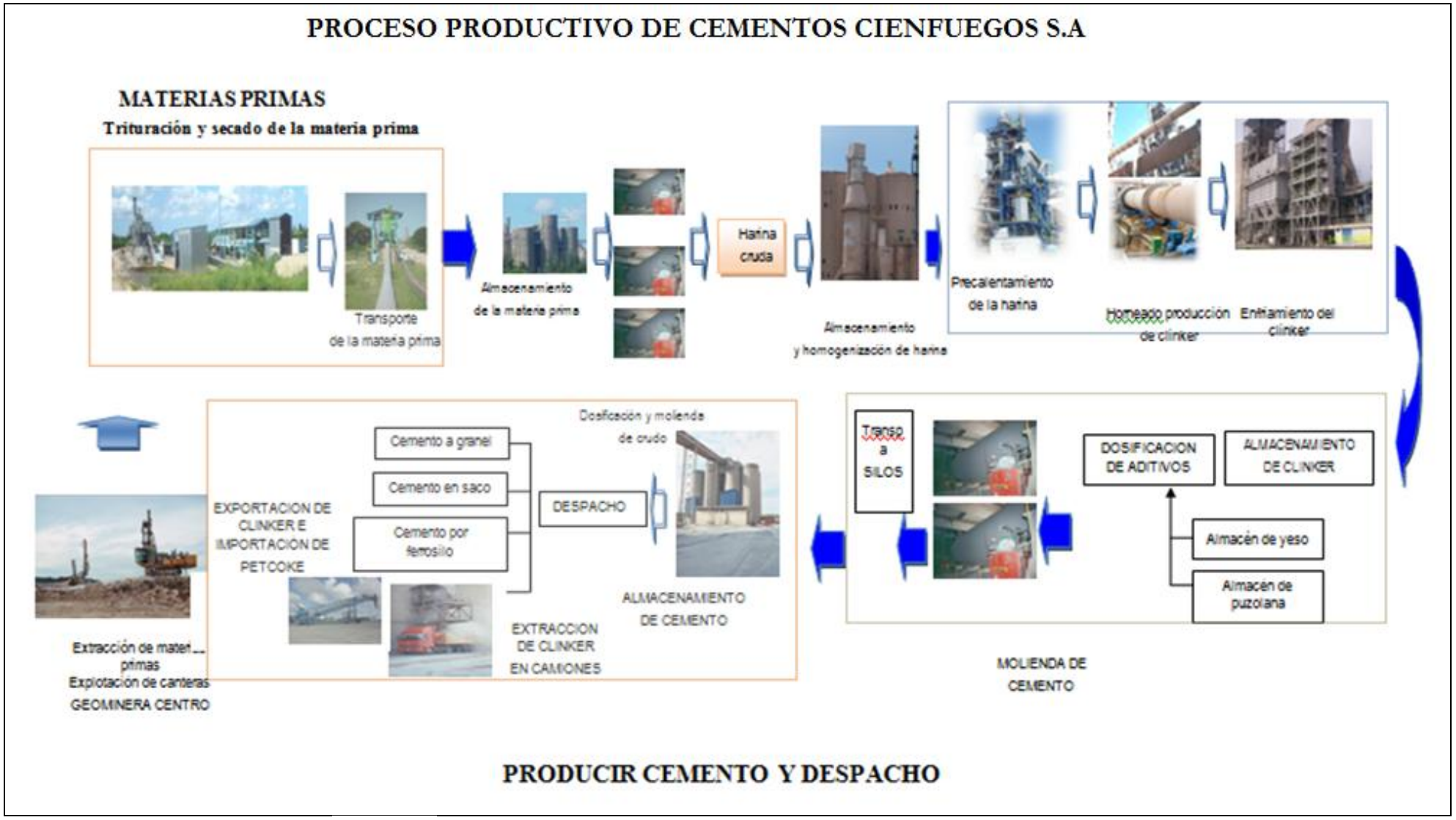


Fig. 2.2 Proceso productivo de Cementos Cienfuegos S.A

2.2.1 Preparación de las materias primas

La caliza, marga, la toba y el perdigón son transportados por camiones desde las canteras actuales hasta el secador ubicado en la nueva instalación. Una vez seca la materia prima fina, se incorporan por medio de las bandas transportadoras existentes hacia el actual almacén de materia prima. (Fig.2.3) Dentro del nuevo concepto de operación, todos los materiales (caliza, caliza margosa, marga y perdigón) deberán ser secados y triturados en el área de la trituradora primaria existente, en operaciones intermitentes. Una criba de alta eficiencia se encuentra instalada antes de la tolva de alimentación de la trituradora primaria para separar los finos (granulometría menor que 75 mm), que serán alimentados directamente al secador rotatorio ubicado en esta área.

Fig. 2.3 Bandas Transportadoras

Las materias primas trituradas, son conducidas por bandas transportadoras hasta los seis silos de caliza (2 por línea). En el caso de la marga y el perdigón y feldespato, son transportados inicialmente hasta la fábrica por medio de camiones y conducidos a la nave para materiales secos por medio de la banda transportadora de 500 T/h. Una vez dispuestos en la nave de materia prima seca, la marga y el hierro son transportados por transportadores de bandas hacia las tolvas de almacenaje intermedio para la dosificación de crudo.

El desempolvado en el área de trituración se realiza mediante 2 separadores ciclónicos, a la salida del secador se encuentra instalado el filtro de mangas (casa de bolsas) y en cada torre de transferencia de las bandas transportadoras hasta la fábrica se instalaron filtros de mangas con niveles de emisión máxima de 20 mg/m^3N de polvo. (Fig. 2.4)

Fig. 2.4 Área de Preparación de las Materias Primas

Equipos fundamentales

- Criba de alta eficiencia de 500 t/h
- Trituradora de martillos de doble rotor. Dimensiones:2000 x 2000 mm, Capacidad: 600 T/h
- Desempolvado: Batería de 2 ciclones en paralelo. Filtros de mangas.

- Nivel de emisión de polvo de los ciclones: 20 mg/m^{3}N
- Flujo de aire para casa de bolsa del secador: 371 000 m^3/h
- Nivel de emisión de polvo: 50 mg/m^{3}N

- Secador de tambor rotatorio. Dimensiones: Diámetro: 5 m. Longitud: 34 m.
- Capacidad: Perdigón: 250 T/h, Marga: 300 T/h.

2.2.2. Uso del agua en la etapa de la preparación de las Materias Primas

En la Fig. 2.5 se puede apreciar el diagrama del flujo de materiales en el proceso de preparación de las Materias Primas. El enfriamiento de los equipos se realiza mediante un circuito cerrado de aceite con enfriamiento por circulación natural de aire.

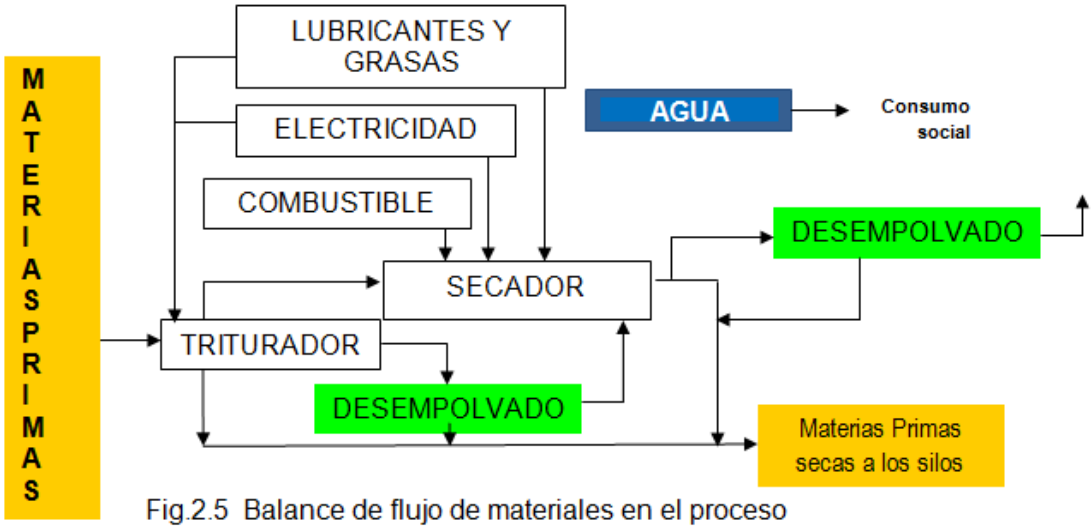


Fig.2.5 Balance de flujo de materiales en el proceso

Como podemos apreciar en la figura anterior, el proceso de preparación de materias primas no utiliza agua. En el área se encuentra enclavado un comedor para los doce trabajadores que operan la instalación, que cuenta además con dos instalaciones sanitarias, dos bebederos, que entre todos consumen un total promedio de 9000 Litros de agua semanales; hay que aclarar que el agua potable es suministrada directamente a través de pipas. Los residuales líquidos del área son tratados mediante dos fosas sépticas y una trampa de hidrocarburos, estos residuales no se conectan a la red centralizada que descarga a las lagunas de oxidación.

Las mediciones de los parámetros del agua a la descarga de dichos sistemas se realizan según programa de monitoreo con una frecuencia anual.

2.2.3. Uso del agua en el área de dosificación y molienda de Crudo

Dosificación y molienda de crudo

La caliza dispuesta en silos, la marga, el perdigón y la zeolita, son dosificadas y conducidos juntos hasta la estación de molienda de crudo, donde pasan por un triturador secador de impacto, el grueso pasa al molino de bolas , el polvo de arrastre pasa al separador, y el fino pasa a la batería de ciclones. El material separado pasa a un sinfín recuperador y el aire pasa a la torre estabilizadora donde se enfría y se envía al electrofiltro. El material separado es enviado a los silos de almacenaje para su homogenización.

En los molinos se consume agua en el enfriamiento de las chumaceras y en los reductores de los molinos. En las Fig. 2.6 y Fig. 2.7 podemos apreciar estas instalaciones.

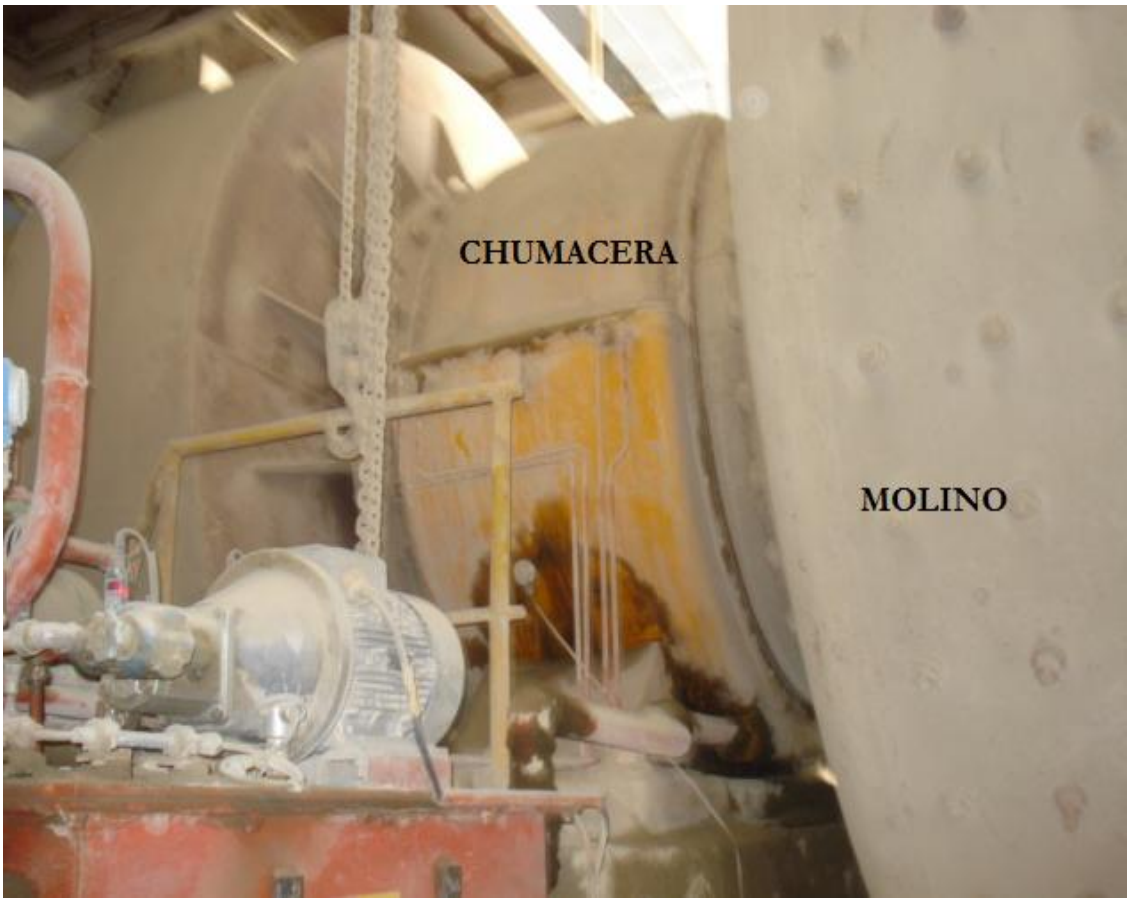


Fig.2.6 Chumacera del Molino de Crudo

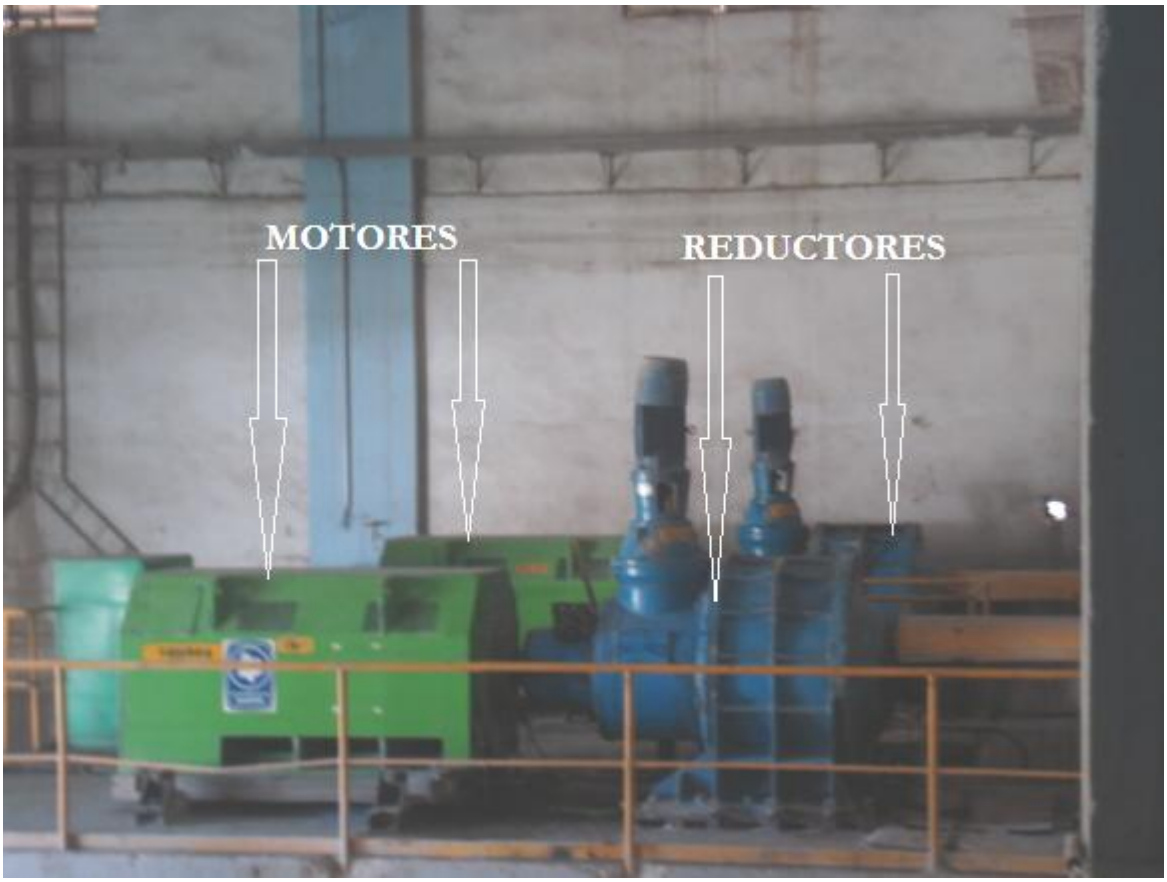


Fig. 2.7 Motores y Reductores de los Molinos de Crudo

La instalación de Molienda cuenta con tres molinos de bolas similares y cada uno consume 30m^3 de agua por hora de trabajo. Por lo que el consumo total es de 90m^3

2.3. Uso del agua en el área de Piroproceso.

De los silos de almacenaje, la harina homogeneizada es conducida al precalentador, y de ahí pasa al horno rotatorio donde ocurre la clinkerización (se transforma en clinker). Posteriormente a través de un transportador de cangilones el clinker es enviado a los silos de almacenamiento.

La Fig.2.8 muestra el consumo de agua en el proceso

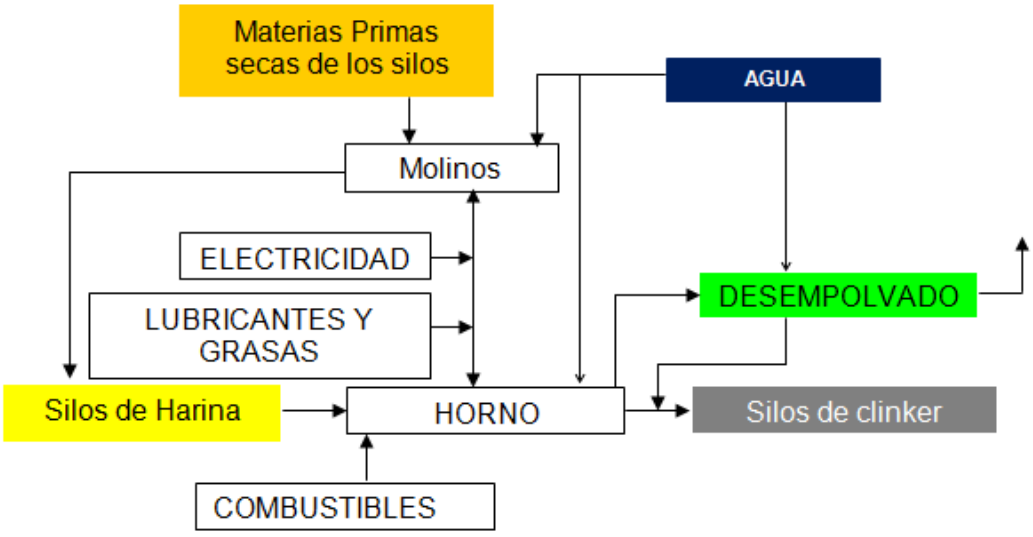


Fig. 2.8 Consumo de agua en Piroproceso.

El consumo de agua en este proceso se realiza para el enfriamiento (circuito cerrado) de equipamiento (Fig. 2.9), (Fig.2.10)

Fig.2.9 Sistema de enfriamiento del Molino de Petcoke.

Fig. 2.10 Sistema de enfriamiento de los rolos del Horno

Las mayores pérdidas de agua en este sistema se producen en las torres estabilizadoras de los electrofiltros, por evaporación directa y su posterior expulsión a la atmósfera. (Fig. 2.11).

Fig. 2.11 Electrofiltro y Torre Estabilizadora

El consumo en las torres está caracterizado como el mayor consumidor de agua utilizada para enfriamiento (95% del consumo total) y esta relación de consumo se muestra en la siguiente tabla:

Sistema Tecnológico	Balance de agua [m^3/h]	
	Entrada	Salida
Molinos de crudo		
361-MB1	30	30
362-MB1	30	30
363-MB3	30	30
Enfriamiento de chumaceras *Enfriamiento de reductores de los molinos*		
Hornos		
Horno Línea I	33	33
Enfriamiento de los rolos del horno (12 u) *Enfriamiento del motor principal del horno.*		
Horno Línea III	21.3	21.3
Enfriamiento de los rolos del horno (12 u)		
Molino de Petcoke		
Sistema de lubricación	50.8	50.8
Enfriamiento del aceite de los sistemas de lubricación		
Torres acondicionadoras		
421-TA1	8	
422-TA1	12	
423-TA1	10	
Enfriamiento de los gases antes de los electrofiltros *Mejorar las características dieléctricas de la mezcla de gases y polvo antes electrofiltros.*		
Sistema de aire comprimido.		
Sala de compresores	341.5	341.5
Patio de carbón		
Rociado de las pilas	3	
Enfriamiento de chumaceras de sopladores y compresores		
Agua para sanitarios, limpieza		
Agua no industrial	*3.5*	*3.5*

Tabla.1 Balance de agua de las instalaciones incluyendo entradas y salidas en cada punto del proceso o actividad.

En el caso del patio de carbón el agua se utiliza además para el rociado de las pilas de combustibles durante el verano con el objetivo de excluir la emisión de

polvo de combustible durante su manejo y disminuir la temperatura del mismo por debajo de los 70 ^{o}C. (Fig.2.12)

Fig.2.12 Rociado de las pilas

A todo esto debemos agregar que a este proceso están conectados otros consumidores no tecnológicos como son:

- Sanitarios.
- Cocina-comedor
- Patio de carbón.
- Jardinería.
- Empresas del emplazamiento
- Caserío cercano a la fábrica
- Taller automotriz de la transportista.

Todos estos sistemas cuentan con sistemas de tratamiento de residuales (fosas sépticas) conectados al sistema de alcantarillado que vierte a la laguna de oxidación).

2.4 Uso del agua en la producción de cemento

De los silos, el clinker se extrae mediante las desensiladora (con sistema de desempolvado) a una banda transportadora donde se dosifican los aditivos y se envía a los molinos de cemento junto con yeso para su molienda y la obtención de cemento Portland y de ahí a los silos de almacenamiento.

El producto final transportado a silos de almacenaje es posteriormente despachado a granel o en bolsas para medios de transporte automotor o por ferrocarril. Para el llenado de bolsas se cuenta con 3 máquinas ensacadoras.

La siguiente tabla muestra el consumo de agua en el proceso de molienda de cemento.

Sistema Tecnológico	Balance de agua [m^3/h]	
	Entrada	Salida
Molinos de Cemento		
561-MB1	30.5	30.5
562-MB1	30.5	30.5
Enfriamiento de chumaceras		
Enfriamiento de reductores de los molinos		

Tabla.2 Balance de agua de las instalaciones incluyendo entradas y salidas en cada punto del proceso o actividad.

Conclusiones del capítulo

1. Los principales consumidores de agua en la empresa Cementos Cienfuegos SA son la torre de enfriamiento, el agua para el enfriamiento de equipos y las torres estabilizadoras.

2. El consumo de total de agua de la empresa en los dos últimos años fue de 900 508.3 m^3 de agua.

3. Se identificó un potencial de ahorro de agua a partir del análisis de los principales consumidores.

Capítulo III.

A los peces no les importa ser pescados,
pues tienen la sangre fría y no sienten dolor.
Pero no fue un pez el que me lo contó.

CAPITULO 3. Propuestas de medidas de PML para el uso racional del agua en Cementos Cienfuegos SA

Hacer eficiente el uso de agua significa algo más que llevar a cabo un estudio de la planta y la preparación de un reporte. Las medidas para lograr un uso eficiente del agua deben visualizarse de una forma holística dentro de la planeación estratégica de Cementos Cienfuegos S.A., el uso más eficientemente del agua facilitará la ventaja competitiva en el futuro respecto al resto de las cementeras del país que decidieron no actuar en este sentido. Es vital para Cementos Cienfuegos S.A. contar con un programa efectivo que priorice las necesidades, establezca metas, niveles mínimos de desempeño y proyecte adecuadamente un plan de acción a partir de la identificación y corrección de las malas prácticas en el uso del agua.

La producción de cemento se realiza por dos vías: vía húmeda con elevados consumos de agua para la preparación de las colas para la producción de clinker, enfriamiento de equipos y consumos domésticos (sanitarios, potable y comedores); la vía seca que no utiliza agua en la producción de clinker y el consumo de agua está restringido a los sistemas de enfriamiento y consumos domésticos. En este sentido es práctica común en estos tipos de empresa mantener sistemas de gestión para este recurso con el objetivo de minimizar las pérdidas, que en la generalidad está incluido en los sistemas de gestión de portadores energéticos como en el caso de Cementos Cienfuegos S.A.

Dicho así, puede suponerse que los procesos de producción de clinker vía seca tienen una gran ventaja sobre los procesos de vía húmeda en relación con el consumo de agua, pero el hecho de operar con materias primas intermedia (harina) con bajo contenido de humedad (<1%), existe una elevada probabilidad de grandes emisiones de polvo a la atmosfera, por lo que es necesario instalar sistemas de desempolvado de alta eficiencia para el tratamiento de los gases antes de ser liberados como emisiones industriales.

Los sistemas de desempolvado con mayor desarrollo en este tipo de industria son los electrofiltros donde se utiliza el efecto de ionización del polvo para su posterior separación electrostática y reincorporación nuevamente al ciclo. Pero la eficiencia de estos sistemas depende de dos factores muy importantes que son la temperatura óptima de trabajo de la cámara de separación y la resistividad del polvo. Estos parámetros deben ser garantizados permanentemente ya que la eficiencia tiene un comportamiento inversamente proporcional a los mismos.

Estos sistemas son diseñados de conjunto con torres estabilizadoras cuya función es disminuir la temperatura de la mezcla de gases y polvo provenientes de las instalaciones de piroproceso (Horno) y aumentar la resistividad del polvo utilizando rociadoras de agua. Este sistema constituye en sí el mayor punto de consumo de agua para este tipo de proceso, del cual no se puede prescindir.

Los estándares internacionales para el consumo específico de agua en ambos tipos de procesos está en el orden de 0.50 ÷ 0.55 m^3/ton de clinker.

En el presente capitulo serán analizadas aquellas actividades relacionadas con el consumo de agua en los sistemas tecnológicos y se propondrán soluciones para mitigar los efectos económicos y ambientales desfavorables. Para ello serán divididas en dos grupos: prácticas comunes y malas prácticas

3.1- Utilización de índices de consumo general de agua.

En Cementos Cienfuegos S. A., el consumo de agua se registra a nivel de empresa, no registrándose los gastos de agua por áreas ni equipos, por lo que no es posible representar las estructuras de gastos de agua de estos niveles, lo que dificulta la identificación de las áreas, equipos y personal claves en el consumo de agua. Esto complica el establecimiento de un control eficaz en el uso racional del agua.

Los diagramas de dispersión del consumo de agua en un período de tiempo, con respecto a la producción realizada durante ese mismo período aportan información relevante sobre el proceso. Estos diagramas permiten analizar la validez de los índices de consumo con los que se trabajan.

Es la gráfica de la Fig. 3.1 se muestran los diagramas de consumo vs. Producción, con los respectivos análisis de regresión de las variables que forman estos índices, con los datos del año 2010. En estos diagramas se obtiene para cada caso la ecuación de energía y consumo de agua en función de la producción, la cual se representa en la ecuación (1). Además, se obtienen los coeficientes de determinación (R^2), los cuales a los efectos del monitoreo y control energético son adecuados si son mayores que 75% (Borroto y Monteagudo 2006).

Como se muestra en el gráfico de la Fig. 3.1, el indicador de consumo especifico de agua (m^3/ton), tiene un coeficiente de correlación << 75% por lo que estos gráficos de control no permiten determinar la estabilidad y capacidad del proceso, y con ello distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales, y así decidir las mejores acciones de mejora directamente en las áreas, por lo que este indicador no debe utilizarse a los efectos del monitoreo y control aunque se utilice como indicador global, ya que no permite identificar aquellas áreas con altos consumos y por tanto dificulta la identificación de mejoras.

$$E = m * P + E_o$$

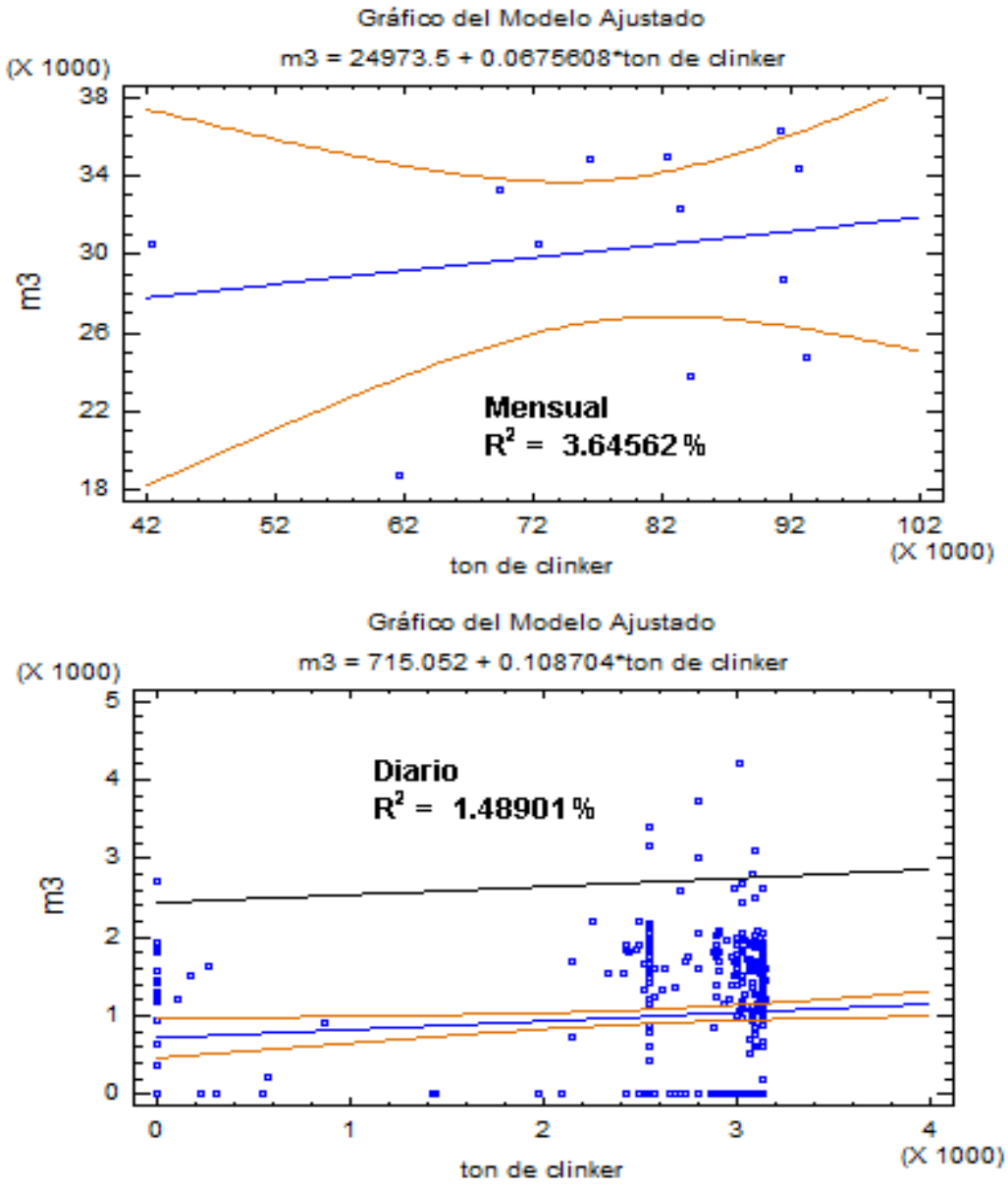


Fig.3.1 Diagramas de dispersión para el índice de consumo de agua del 2010

En la figura 3.2 se muestra el comportamiento mensual del 2009 al 2010 de la producción de cemento equivalente y el consumo de agua, observándose que no hay correspondencia respecto al consumo de agua.

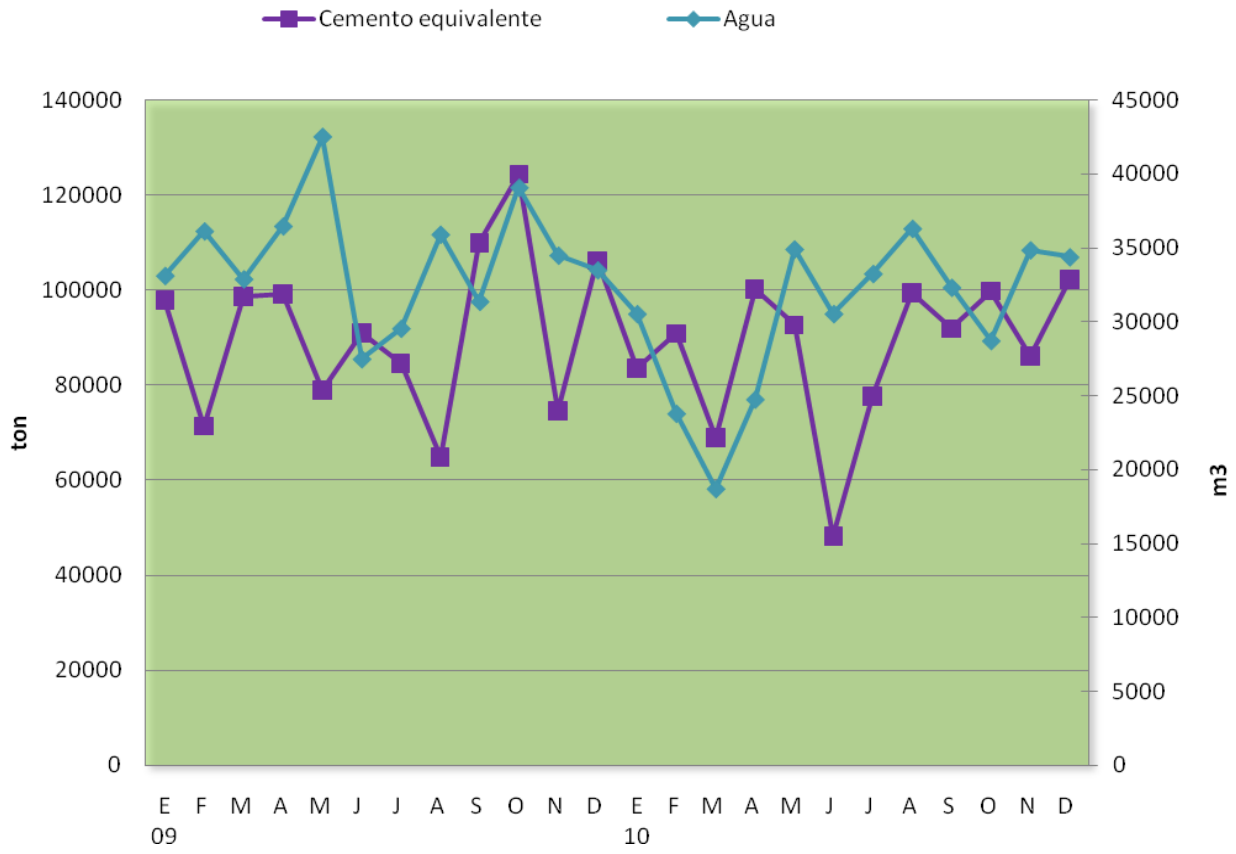


Fig. 3.2 Gráfico de consumo de agua y producción de cemento equivalente en el tiempo.

Fuente. Datos estadísticos de planta

La causa principal de esta no correspondencia es que el control del agua se realiza a nivel de empresa y no por áreas. Al ser así el registro del consumo tecnológico se hace inexacto y no representativo de la realidad. Es de destacar que al sistema de suministro de agua de la empresa se encuentran instalados otros consumidores que nada tienen que ver con la producción y que representan pérdidas significativas, por cuanto no se incluyen dentro del circuito de recirculación, dentro de estos consumidores se encuentran las empresas de servicio, mantenimiento y la población de guabairo cercana a la fábrica.

Los consumos de agua para estos puntos no se contabilizan de manera independiente, por lo que no se conoce el comportamiento temporal, esto conlleva a que las variaciones en sus consumos se reflejan directamente en el consumo de planta y no se corresponde con los niveles de producción. En general podemos plantear que el consumo de agua en estos consumidores es mayor que en la planta ya que en esta última el 95% de los consumidores están conectados a un circuito cerrado de recirculación.

Para determinar el consumo real por tonelada de producto terminado (clinker o cemento) se requiere conocer el consumo de cada equipo que interviene en la producción, ponderado según el volumen de producción en que el interviene, o sea si tenemos tres líneas de producción a cada una está asociada un porciento de la producción total, en el caso que una línea existan equipos en paralelo a cada uno de estos equipos estaría asociada un nivel de producción de ese línea, por tanto conociendo el consumo de los equipos de esa línea, estaremos en condiciones de conocer con mayor exactitud el consumo especifico de agua por tonelada de producto.

En la actualidad el indicador de consumo de agua solo considera el volumen de agua bombeada y la producción total realizada en un intervalo temporal, es de destacar que a pesar de las pérdidas tan significativas este indicador macro se mantiene dentro de los parámetros para este tipo de industria, esto se debe a que el volumen de clinker producido es muy elevado en comparación con el consumo de agua y los volúmenes de agua que se pierden no tienen un peso significativo. Si el indicador estuviera referido a los equipos entonces habría un inventario de agua que si fue incorporada al inventario de la planta pero que no intervino en la producción, por lo que se considera una ineficiencia del sistema y como tal puede ser considerado.

Como solución proponemos sectorizar el consumo de agua en Cementos Cienfuegos S.A, mediante la delimitación hidráulica de las redes de distribución de agua industrial y el cierre de sus mallas internas, para ejercer mayor control operativo de parámetros como la presión, la continuidad, e iniciar un programa de control de agua no facturada. Esta delimitación permite crear sectores aislados unos de otros, definidos en áreas, y que dan servicios a sistemas fundamentales.

A las empresas de servicio y mantenimiento se les mantendrá el servicio (Política de la compañía), solo que le serán contabilizadas asignándoseles cuotas de consumos (que obliguen a establecer programas de ahorro) y obligatoriedad de pago. En el caso de la población de Guabairo cercana a la fábrica serán conectados a la red de suministro de población y se cortará el servicio.

En la Fig. 3.3 observamos los flujómetros que se están instalando directamente en los colectores de entrada a las áreas consumidoras, incluyendo las empresas instaladas dentro

del emplazamiento y que reciben el servicio de suministro de agua de los sistemas de agua de planta. Esto permitirá establecer indicadores de consumo por área y evaluar los equipos críticos en el consumo, facilitando el seguimiento del consumo de este portador mediante los gráficos de control.

El control operativo del consumo por sectores permite la investigación, no sólo de temas relacionados con la ingeniería del sistema de agua potable, sino también con cambios provocados en el uso del agua por los usuarios y en la gestión comercial de ese servicio en la empresa.

Fig. 3.3 Instalación de Flujómetro.

Fuente: cortesía Cementos Cienfuegos S.A.

Estos flujómetros deberán ser instalados en los siguientes puntos. Ver Fig.3.4.

1. Edificio Administrativo
2. Colector de suministro de agua a la EAC
3. Colector de suministro de agua a la Empresa de Asistencia y servicio
4. Colector de entrada al área de cocina comedor
5. Colector de entrada de la torre de enfriamiento
6. Colector de entrada al área de molienda de crudo
7. Colector de entrada al área de Piroproceso
8- Colector de entrada al área de molinos de cemento.

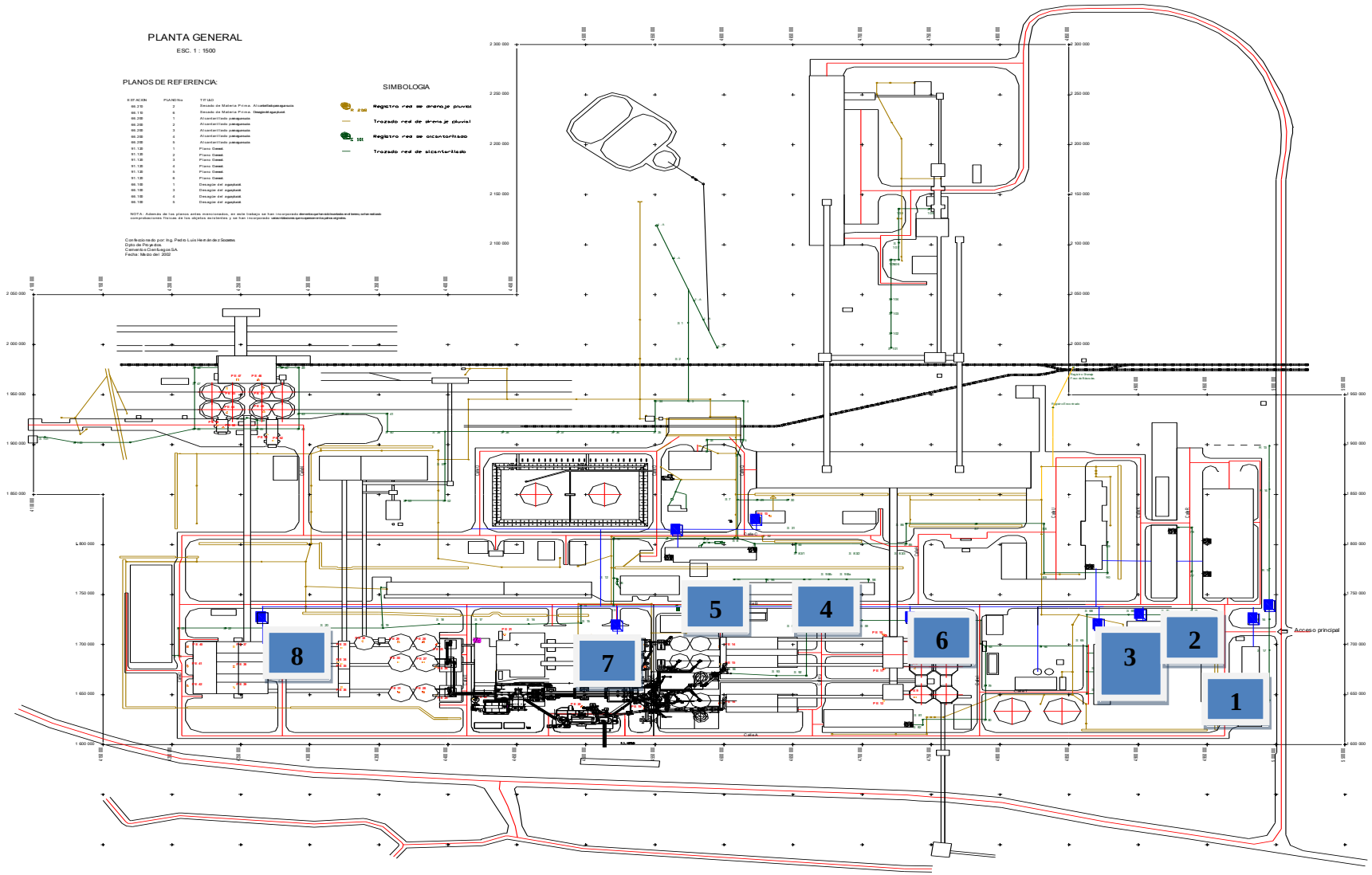


Fig. 3.4. Plano de Cementos Cienfuegos S.A

Fuente: elaboración propia

Los costos asociados a la instalación y operación de dichos flujómetros se muestran en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Costos totales de la medida

	cantidad	CUC/unidad	total
Costo de elaboración del proyecto			400.00
Costo del equipamiento			
Flujómetros	8	810.00	6480.00
Tuberías	60 m	3.25	195.00
Válvulas	16	23.04	368.64
Cables eléctricos	200 m	1.13	226
Costo de instalación			
Mano de obra			
Obreros	3	4.50	13.50
Técnicos	1	6.75	6.75
Alquiler de equipos para el montaje			870.00
Verificación metrológica	8	16.34	110.42
		TOTAL	8670.31

Fuente: Elaboración propia

3.2 Utilización de agua enfriamiento en las torres estabilizadoras.

El uso de agua para enfriamiento del equipamiento representa uno de los mayores consumos de este recurso en CCSA, especialmente en las torres de enfriamiento. El agua es rociada directamente al flujo de polvo y gases antes del electrofiltro, desde un tanque de 1 000 m^3 (independiente para cada torre) mediante las bombas 423-BM3 y BM4, el flujo de agua es regulado por la válvula 423-VA1 en función del gasto másico de gases y su temperatura a la entrada de la torre. Esta agua proviene del circuito cerrado de agua de enfriamiento utilizando las bombas situadas en la torre de enfriamiento, las que se encargan de mantener el nivel del tanque mediante un sistema de señalización de nivel y recirculación nuevamente a la torre de enfriamiento. (Fig.3.5)

El método más utilizado en las torres estabilizadoras de los electrofiltros (Desempolvadores electrostáticos) es el enfriamiento directo en el cual el agua entra en contacto con la corriente de aire y polvo proveniente de la instalación de molienda y del horno ($T_{entrada}$= 390 ^{o}C) disminuyendo su temperatura y (T_{salida}= 120 ^{o}C) para luego ser descargado como vapor de agua a la atmósfera a la salida de los electrofiltros.

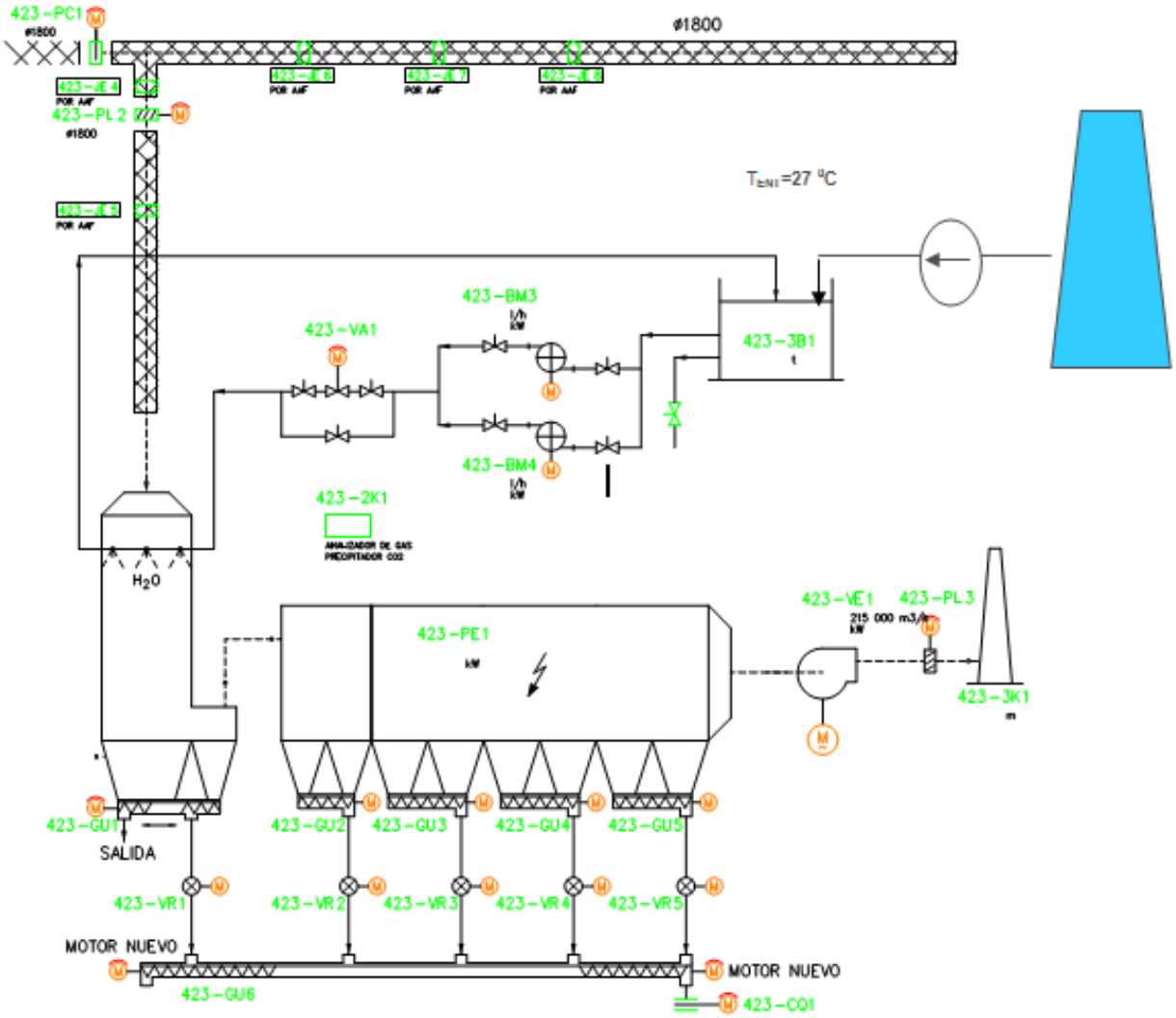


Fig. 3.5. Diagrama de flujo del agua en las torres de enfriamiento.

Fuente: Cortesía de la Gerencia de Mantenimiento de Cementos Cienfuegos S.A.

La figura 3.6, muestra registro computarizado del comportamiento de la torre estabilizadora del electrofiltro de la Línea II que alimenta al horno III.

Los electrofiltros tienen un sistema automatizado que permite controlar todos los parámetros de su trabajo. La temperatura de entrada de los gases (Color Rojo), la temperatura de salida de los gases (Azul Fuerte), el flujo másico o el volumen de los gases (Malva), el flujo de agua(Verde) así como la cantidad de duchas o lanzas (Azul Claro) para la inyección del agua al sistema según lo requiera el sistema.

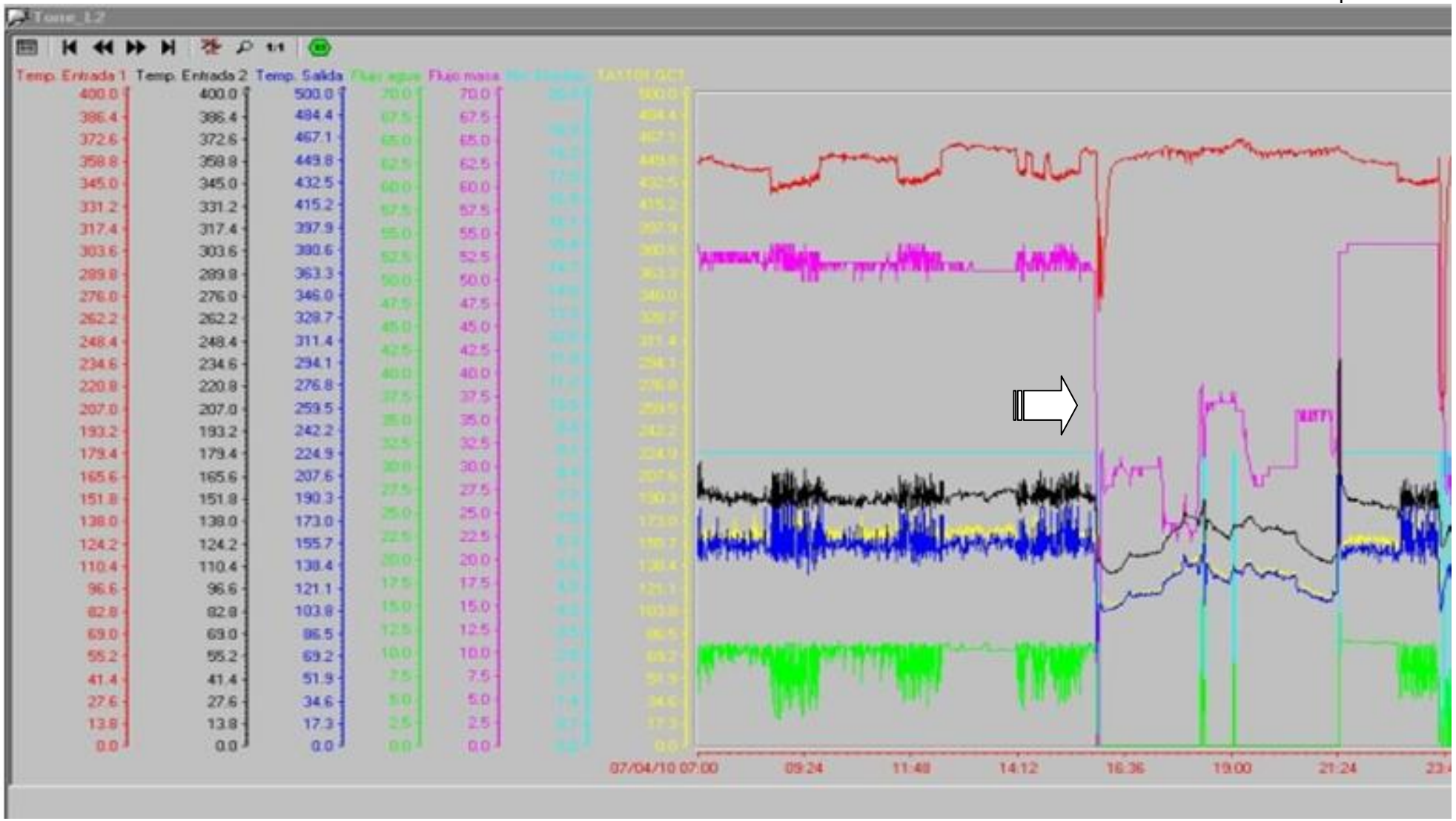


Fig. 3.6 Registro de control de la torre estabilizadora del electrofiltro No.II.

Fuente: Cortesía de Gerencia de Planta de Cementos Cienfuegos S.A.

Como podemos apreciar en el registro de la figura 3.6, existe una relación directa entre la temperatura de entrada de los gases (color rojo), el gasto másico de gases y polvo (malva) y el flujo de agua (color verde). Al aumentar la temperatura de entrada de los gases aumenta el gasto de agua de inyección con el objetivo de disminuir la temperatura de salida de los gases en aras de garantizar una temperatura de entrada al electrofiltro inferior a los 170 ^{o}C. Esto mismo ocurre cuando aumenta el flujo másico ya que al aumentar la cantidad de partículas por unidad de volumen aumenta la cantidad de agua necesaria para aumentar la resistividad de esa unidad de volumen. Todo este proceso se realiza de forma automática.

En el gráfico se observa además que a partir de las 16:36 h fuertes oscilaciones en los parámetros de gasto másico y gasto de agua de inyección, aunque se mantiene con cierta estabilidad la temperatura de entrada de los gases. Esto se produce debido al arranque de los molinos de crudo, que asimilan parte de los gases calientes provenientes del horno (para el barrido y secado de la harina durante la molienda), lo que provoca una disminución en el inventario de gases que se envía a la torre, en este caso el consumo de agua se detiene ya que la cantidad de agua evaporada de la harina es suficiente para aumentar la resistividad, y la mezcla de gases se enfría de forma natural al pasar por la torre.

Tabla 3.2 Resumen del consumo de agua en las torres estabilizadoras.

	Línea III		Línea I
	Torres estabilizadoras		
	Torre III	Torre II	Torre I
índice de consumo de agua m^3/h	10	12	8
tiempo de operación h/d	12	12	12
consumo anual m^3	39600	47520	31680
TOTAL		118800	

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Fig. 3.6 y la Tabla 3.2, el volumen medio anual descargado a la atmósfera es de 118800 m^3 con los dos hornos trabajando, esto representa un costo de 19 008.00 CUC h/m^3 solo por concepto de compra del agua y un gasto de energía por bombeo de 47 520.00 kWh (costo de 8068.896 CUC, según índice de consumo del 2010; 0.40 kWh/m^3), lo que representa un costo total de 27076.896 CUC/año.

En este sentido se propone utilizar el agua de salida de la laguna de oxidación, para el rociado de los gases de la torre.

La laguna de oxidación es una instalación diseñada para el tratamiento de las aguas residuales de la canalización albañal y de las instalaciones de cocina comedor instalado en la Fábrica. Para el tratamiento de las aguas residuales se encuentran en operación un sistema de tres lagunas con un sistema de decantación previa con las siguientes características:

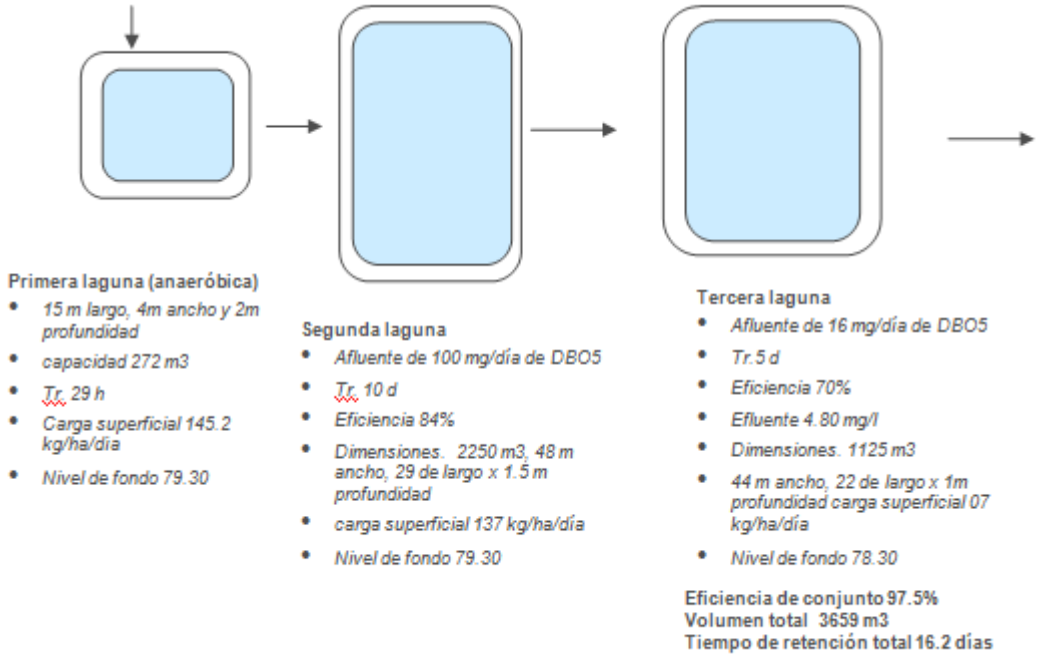


Fig.3.7 Sistemas de lagunas de oxidación.

Fuente: Registro ambiental de Cementos Cienfuegos S.A.

La empresa contrató al Laboratorio Ambiental de Cienfuegos para que realizara el monitoreo de los residuales, que permite garantizar el control de la calidad del agua, mostrando que los parámetros del residual vertido a la salida, pueden ser utilizado para sustituir el agua de enfriamiento utilizada en las torres estabilizadoras. En la siguiente tabla se muestran los valores comparativos entre los parámetros del agua de enfriamiento y los de la salida de la laguna de oxidación.

Tabla 3.3 Valores comparativos de la composición del agua de enfriamiento y salida de la laguna de oxidación.

Parámetros	U/M	Salida de la laguna Valor	u	Agua tecnológica
Fósforo Total	mg/L	0.276	± 0.062	0.765
NTK	mg/L	0.97	± 0.38	-
DQO	mg/L	56	± 10.1	-
DBO5	mg/L	27.5	±8.8	-
Sólidos sedimentables	ml/L	<0.2	---	<0.01
Sólidos Suspendidos	mg/L	38.8	± 7.8	<1
OD	mg/L	8.12	± 0.12	-
pH	Unidades de pH	7.43	± 0.07	7.5 – 8.5
Temperatura	°C	25.3	± 0.2	
Ce	µs/cm	502	± 12.6	1000
Grasas y Aceites	mg/L	249	± 81	<100
Dureza Total	mg/L	---	---	0.2 - 0.4

Fuente: Registro ambiental de Cementos Cienfuegos S.A.

De la tabla anterior podemos concluir que las caracteristicas del agua tecnológica difieren respecto al agua de salida de la laguna en los sólidos sedimentables y las grasas y aceites respectivamente, en el caso de la laguna estos valores son superiores a los exigidos para el sistema de agua de enfriamiento del circuito cerrado de la planta, desde donde se alimenta el sistema de rociado de las torres estabilizadoras de los electrofiltros.

Para solucionar este problema, se propone independizar el sistema de suministro de agua para las torres estabilizadoras, del circuito de agua de enfriamiento directamente en el colector de salida de la torre de enfriamiento (fig. 3.10) adicionalmente es necesario instalar una estación de tratamiento adicional de agua para remover las partículas en suspensión y las grasas que puedan obstruir las boquillas de los rociadores de la torre estabilizadora, mediante el método de centrifugación como la que se muestra en la fig. 3.8.

Fig. 3.8 Planta de tratamiento de adicional por centrifugación.

Fuente: Documentación de oferta del sistema

En la fig.3.9 se muestra el esquema del sistema de utilización del agua de salida de la laguna de oxidación

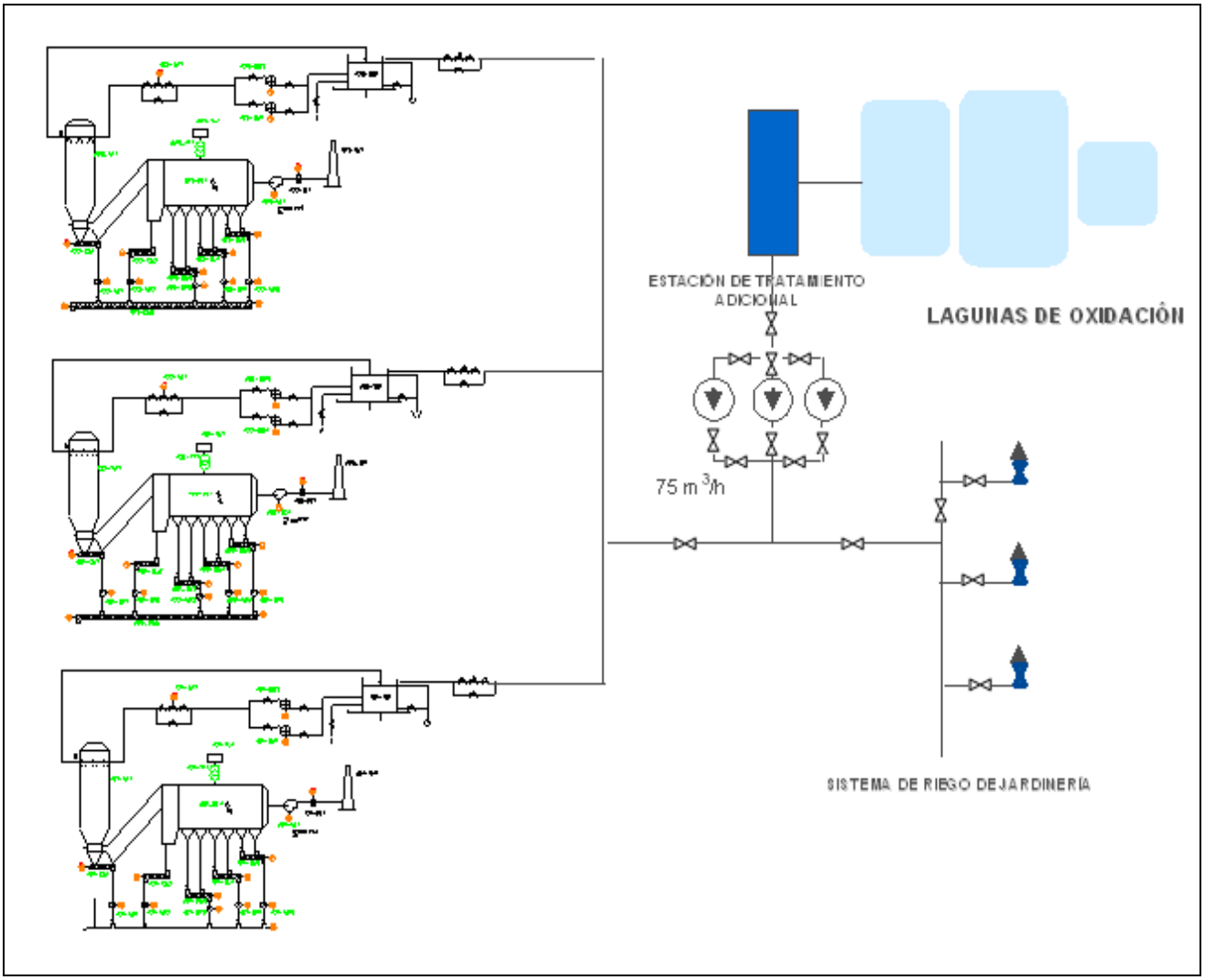


Fig.3.9 Esquema de flujo de la instalación para la utilización del agua de la laguna de oxidación.

Fuente: elaboración propia

Del diagrama de flujo de la fig. 3.9 se aprecia que para el bombeo de agua desde la instalación de tratamiento hacia los tanques de consumo de las torres estabilizadoras serán colocadas tres bombas (una trabajando, una en reserva activa y otra en mantenimiento) con el objetivo de garantizar la seguridad del trabajo de las torres ya que estas constituyen sistemas de protección ambiental.

Por otro lado se interconectará a esta línea una derivación para el suministro de agua a los rociadores de la jardinería, el objetivo es mantener un flujo de agua continuo a la planta de tratamiento, ya que el consumo de agua de las torres no tiene un comportamiento estable en el tiempo, por lo que existen excedentes de agua en

determinados momentos que de no utilizar en la jardinería tendría que ser descargado a la cuenca Caunao, lo que traería como consecuencia pérdidas en el ciclo.

3.3 Utilización de agua enfriamiento para el riego de la jardinería.

En la actualidad Cementos Cienfuegos S.A ejecuta un conjunto de actividades relacionadas con el control de la contaminación, la siembra de jardinería es una de las medidas más eficaces y económica para mitigar la concentración de polvo en el aire por resuspensión de la deposición seca y al mismo tiempo mejora el impacto visual de las instalaciones productivas, hoy más del 80 % del área no operacional está siendo sembrada de pasto y jardines, porque se prevé la implementación de prácticas eficientes de irrigación que incluyen:

- Diseño de jardines que requieran poca agua y un mantenimiento sencillo.
- Mantenimiento apropiado del equipo de irrigación para asegurar su adecuado funcionamiento.
- Distribución del equipo de irrigación para asegurar que el agua sea distribuida uniformemente por todas las áreas que lo necesiten
- Establecimiento de horarios de irrigación para asegurar el uso racional de agua.
- Instalar aspersores de alta presión y bajo volumen.
- Equipar mangueras con dispositivos de pistola.

El riego de estas áreas verdes se realiza utilizando agua del sistema de enfriamiento, según un cronograma planificado en función de la humedad del suelo y el horario del día, los volúmenes de agua estimados son de 10000 m^3 anuales.

En este caso proponemos utilizar parte del agua de salida de la laguna de oxidación en sustitución del agua de enfriamiento, ya que si observamos los gráficos de consumo de las torres estabilizadoras, existe disponibilidad de este recurso al disminuir su carga de trabajo cuando se encuentran operando los molinos de crudo (12 h/d) ya que parte de los gases del horno se utilizan para el barrido de los molinos (secado de la harina), por lo que la demanda de agua a las torres solo es necesaria para aumentar la resistividad ya que los gases llegan con temperaturas inferiores a 200 ^{0}C.

En general la reutilización del agua residual a la salida de las lagunas de oxidación tendría un significativo aporte económico ya que permite recuperar un volumen de agua superior a los 262 800 m^3/anual a un costo de 0.18 CUC/m^3, representa 47 304.00 CUC/anual dejados de gastar por concepto de compra y descarga.

El ahorro de electricidad en bombeo de 105 120 kWh/anual (índice de consumo de 0.37 kWh/m^3) a un costo de 0.1676 CUC/kWh, representan un ahorro de 17618.112 CUC/anual por concepto de pago de la energía eléctrica.

Finalmente este proyecto prevé un ahorro bruto total de 64 922. 112 CUC/anual

Costos de inversión y mantenimiento.	
Costos de equipamiento	26 560.00 CUC
Bombas unidad (1000 CUC x 3)	*3000.00 CUC*
Tuberías (1000 m x 1.56 CUC)	*1560.00 CUC*
Sistema de tratamiento	*26 000.00 CUC*
Costos de instalación	4140.45 CUC
Mano de obra	*1245.45 CUC*
Insumos	*2 895.00 CUC*
Inversión Total	**30 700.45 CUC**

Costos mensuales de operación.	
Costos agua	973.83 CUC
Costos de la energía	346.25 CUC
Ahorros mensuales bruto	5410.176 CUC/mes

Ganancias netas.	
Ganancia neta mensual.	4090.04 CUC/mes
Tiempo de recuperación de la inversión	8 meses.
En el primer año de funcionamiento tendremos una ganancia estimada.	12 270.12 CUC
En el resto de los años tendremos ganancias neta	49 081.152 CUC/año

3.4 Malas prácticas en el uso del agua.

A pesar del los esfuerzos que realiza la dirección de Cementos Cienfuegos S.A. dirigidos a disminuir los impactos ambientales significativos y los costos, han sido

identificados un conjunto de acciones que clasifican como malas prácticas según los estándares internacionales para este tipo de industria relacionados con el consumo de agua industrial.

Es de destacar que cuando se analizan los índices de consumo de agua por tonelada de producto final (clinker) estos tienen un comportamiento inferior a los 0.50 m^3/ton de clinker en los últimos tres años, valor este inferior a los logrados en industrias similares del país y el mundo. Pero estos indicadores macros como se explicó anteriormente, no es representativo como control y no muestran las potencialidades de mejoras en la gestión del agua hasta niveles de excelencias si se toman acciones dirigidas a eliminar las malas prácticas que aún persisten en la operación de las instalaciones y que han sido identificadas como parte de los estudios de impacto ambiental realizados en la empresa y las revisiones ejecutadas durante la realización de este proyecto.

La continua realización de estas malas prácticas constituye una fuente de ineficiencia en la operación de los sistemas tecnológicos y pérdidas económicas sustanciales debido a los costos de los portadores energéticos.

Dentro de las malas prácticas fueron identificadas las siguientes:

3.4.1 Pérdidas del inventario de agua en la conductora de agua de codicia.

El agua de consumo tecnológico es suministrada por una conductora de 8 km de extensión desde una micropresa situada en Codicia mediante 2 bombas centrífugas de 220 m^3/h hasta los tanques de recepción de 3 000 m^3 (2 unidades) situados en la planta. Para el control de volumen bombeado se han instalado dos flujómetros en ambos extremos de la conductora, los que están sujetos a metrología legal por la OTN Cienfuegos. Las lecturas de estos equipos se realiza diariamente, mostrando gran diferencia entre ellas motivado por salideros debido al deterioro de la conductora y actos de vandalismo, en la tabla 3.3 aparecen resumidos los consumos de agua y las pérdidas en los últimos tres años.

Según la Tab.3.4 los volúmenes de agua perdida aunque elevados han tenido una tendencia a la disminución ya que se han tomado un conjunto de acciones consistente en la reparación de salideros y la sustitución de 2 km del trazado de la conductora con tuberías de polipropileno.

No obstante, las medidas ejecutadas son insuficientes por lo que se propone la sustitución total de la conductora de agua con tecnologías que garanticen la hermeticidad y durabilidad del sistema de suministro de agua. El costo de la inversión asciende a 161 917.98 CUC/km. Desglosado según se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3 Resumen anual de agua de volúmenes de agua bombeada.

	2008	2009	2010	TOTAL
METROS CUBICOS BOMBEADOS	475670	412640	363210	1251520
METROS CUBICOS RECIBIDOS	210116	210054	196194	616364
METROS CUBICOS DIFERENCIA	265554	202586	167016	635156
% DE PÉRDIDA	55,83	49,1	45,98	50,75
Costo de las pérdidas CUC	42488,64	32413,76	26722,56	101624,96

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.4 Costos de la inversión.

	Conceptos de Gastos	MN	CUC	Precio Total
1	Materiales y mano de obra	114027,51		114027,51
2	Uso de equipos y Adquisición de equipos	14691,81	4310,68	19002,49
3	Otros gastos directos de obra	13,12	113,96	127,08
3,1	Protección e Higiene	10,15	84,61	94,76
3,2	Aseo	2,97	29,35	32,32
4	Gastos Generales de Obra	404,18	202,6	606,76
4,1	Comercialización	134,14	116,99	251,13
4,2	Preparación técnica	270,04	85,59	355,63
5	**TOTAL GASTOS DIRECTOS DE PROD**	**129136,63**	**4627,22**	**133763,85**
6	Gastos indirectos de obra	16532,61		16532,61
7	**TOTAL DE GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN**	**16532,61**		**16532,61**
8	SUBTOTAL DE GASTOS	145669,24	4627,22	150296,46
9	P.I Facilidades Temporales			
10	P.I Otros Gastos Adicionales	1262,4		1262,4
11	P.I Gastos Bancarios	15		15
12	P.I Seguros de Obra			
13	P.I Trasp. de Sumin. y medios diversos de construcción	1620,33	74	1694,33
14	P.I Contrib. Aportes pago de derechos y tributos	53,01		53,01
15	SUBTOTAL PRESUP.INDEP	2950,74	74	3024,74
16	COSTO TOTAL	148619,98	4701,22	153321,2
17	UTILIDAD 20%	8596,78		8596,78
18	Insumos del constructor	199	199	
19	Combustible y Lubricantes			
20	**Precio del Servicio de Construcción**	**157017,76**	**4900,22**	**161917,98**

Fuente: Datos del inversionista

Si consideramos una pérdida de agua anual similar a las del 2010, con un índice de consumo eléctrico asociado al bombeo de agua de 0.40 kWh/m^3, se gastan 66 806.64 kWh debido a las pérdidas de agua, lo que representa una pérdida de 11 337.04 CUC (por concepto de consumo eléctrico a un precio de 0.1698 CUC/m^3). Por concepto de compra de agua se perdieron 30 062.88 CUC (0.18 CUC/m^3), resultando finalmente que las pérdidas totales anuales ascenderán a 41 399.92 CUC/a.

Un análisis de costo simple nos muestra que la amortización de la inversión con los beneficios del ahorro de agua por la eliminación de las pérdidas en la conductora se produciría 4 años.

3.4.2 Pérdidas en el sistema de agua de enfriamiento:

El sistema de agua de enfriamiento instalado en Cementos Cienfuegos S.A. es un sistema cerrado con recirculación conectado a una torre de enfriamiento. Sin embargo en la actualidad este sistema consume entre un 10 y 15% del volumen total del agua de recirculación, debido a los siguientes procesos susceptibles de mejoras para la conservación y uso eficiente del agua:

- Purgas:

A medida que la evaporación ocurre, los sólidos suspendidos presentes en el agua se van acumulando en el sistema, por lo que es necesario realizar purgas periódicas y adicionar agua limpia (reposición) para mantener los niveles de sólidos suspendidos en el agua y reducir la acumulación mineral y de otros contaminantes que pudieran interferir en la circulación del circuito.

La eficiencia térmica, la eficiencia de la operación y la vida útil de la torre están directamente relacionadas con la calidad de agua de recirculación. No obstante si se minimizan las purgas, el consumo de agua en las torres de enfriamiento puede ser reducido significativamente, mediante un programa de operación y mantenimiento integrados, al sistema y un control adicional en la concentración de los sólidos totales disueltos en el agua limpia y en las purgas mediante la instalación de un contador (analizador) en el colector de salida de las purgas, el valor de la concentración de

sólidos totales en el agua limpia será tomado directamente a la salida de la planta de tratamiento de agua.

La instalación del contador en el colector de las purgas tiene un costo de 1300.00 CUC

- Neblinas:

Durante el enfriamiento parte del agua se pierde en forma de neblinas a una tasa de un 0,1 a 0,15% del total del gasto de recirculación (datos de proyecto). La reducción de estas neblinas mediante bafles o eliminadores de neblinas ayuda a la conservación de agua, retención de químicos para el tratamiento del agua dentro del sistema y mejoramiento de la eficiencia operativa. En la actualidad la instalación presenta un deterioro total en estos sistemas de retención de niebla, produciendo incrementos de perdidas por este concepto, por lo que se propone restablecer el sistema de bafles en ambas secciones de la torre. (Fig. 3.10)

Fig.3.10 Fotgrafia de las secciones de la torre de enfriamiento.

Fuente: elaboración propia

El costo total estimado incluyendo la mano de obra es de 7 000.00 CUC

- Tratamiento del agua:

La mayoría de las torres de enfriamiento utilizan un programa de tratamiento de agua, con el fin de mantener limpia la superficie de transferencia, minimizar el consumo de agua y cumplir con los límites de vertimientos.

Ahorros de agua estimados 9 245 000 m^3/año, que representa un ahorro de 166.418 CUC/año por concepto de compra de agua y 581.17 CUC/año por energía dejada de consumir en el bombeo (ahorro total de 747.588 CUC/año).

En nuestro caso el tratamiento de agua está dirigido solo a disminuir la dureza del agua y no se presta atención a la eliminación de incrustaciones biológicas en todas las estructuras internas de las secciones de la torre, por lo que el consumo de agua de reposición no está minimizado.

En este sentido se propone, que el tratamiento del agua incluya inhibidores de formación de incrustaciones y biológicos.

Estos inhibidores pueden ser reemplazados por cantidades controladas de ácido sulfúrico, el cual ayuda a convertir las incrustaciones de bicarbonato de calcio a una forma más soluble en forma de sulfato de calcio.

Esta opción tiene un costo de 7 000.00 CUC (amortizándose en 18 meses) , incluyendo la compra e instalación del dosificador de acido sulfúrico. En el esquema de la fig. 3.11. se muestran las conexiones del analizador para la inyección de desincrustante y del contador de sólidos en las purgas.

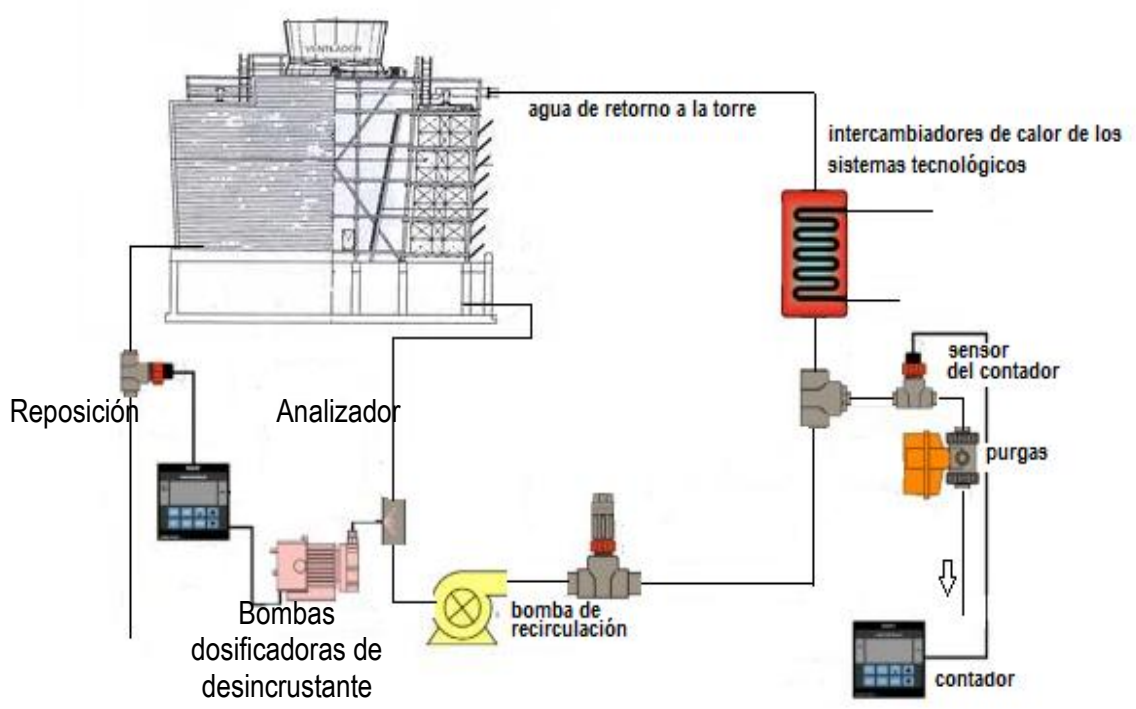


Fig. 3.11 Instalación de los medidores en la torre de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Sanitarios y usos domésticos.

Los sanitarios instalados en la empresa son de tipo tradicional con gasto de agua por descarga entre 9-10 litros de agua. Por lo que se estima que el consumo de agua por este concepto calculado por la expresión (1) está en el orden de los 11 212.8 m^3 anuales

$$GT_{sant}=S_{int}*G_{sant}*f_{desc}*T_{trab}*365.*1000^{-1} \quad (4)$$

Donde:

$GT_{san\ t}$= Gasto total anual de los sanitarios [m^3]

S_{int} = cantidad de sanitarios instalados 64

G_{sant} = Gasto unitario del sanitario 10 [l]

f_{desc} = frecuencia de descarga 4 [h^{-1}]

T_{trab} = Tiempo promedio de trabajo del personal al día 12 [h]

365 = cantidad de días de trabajo al año

1000^{-1}= [l/m^3]

Este gasto de agua representa un costo de 2 018.304 CUC/año por concepto de compra y 761.57 CUC/año por consumo eléctrico en bombeo, con un costo total de 2779.91 CUC/anual

Para mejorar la eficiencia en el consumo de agua en baños se recomienda sustituir la totalidad de los sanitarios por otros menos consumidores (4 litros por descarga). El costo de una unidad asciende a 59.77 CUC por lo que la inversión se estima en 3825.28 CUC

Esta alternativa de reemplazo representa un gasto anual de agua de 4485.120 m^3 lo que representa un ahorro de 4473.90 m^3 (1 109.93 CUC/anual), por lo que el tiempo de recuperación de la inversión se estima en 4 años, este tiempo puede reducirse si se consideran otras alternativas como la de introducción de pomos plásticos con volumen

de 3-5 litros en los tanques de aquellos sanitarios en buenas condiciones, donde no sea necesario el cambio de todo el sistema.

Tabla 3.5 cantidad sanitarios a sustituir y ubicación.

Área	Cantidad de sanitarios
Materias primas	2
Oficina gerente de materias primas	2
Geominera	4
Edificio administrativo	6
Oficinas EAS	4
Oficinas EAC	2
Tarjetero	1
ECOCEM	2
Taller central	4
Taller automotriz	4
Garita del SEPSA	1
Almacén central	1
Taller eléctrico de dosificación	2
Molinos de crudo	4
Laboratorio	2
COP	1
Oficinas de mantenimiento	2
Piroproceso	3
Molino Cemento	2
Subestación principal	2
Oficinas de despacho	2
Ensacado de cemento	4
Comedor mixta	2
Enfermería	1
Compresores	1
Almacén de marga	1
Cocina central	2
TOTAL	64

Fuente: elaboración propia

Es importante además realizar mantenimientos periódicos de estos sistemas para verificar la existencia de fugas y reemplazar y ajustar las válvulas de flote para

minimizar el uso de agua. Estas alternativas también pueden ser aplicadas a orinales (claro está según su tipo).

3.4.4 No utilización de las aguas de escorrentías.

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo de planta. En muchas industrias del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para las operaciones tecnológicas, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de lluvia se acostumbra a utilizar la superficie de las edificaciones industriales como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua.

La captación de agua de lluvia presenta como ventajas que no requiere energía para la operación de recolección, facilidad de mantenimiento, comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

En el proyecto inicial del emplazamiento de la planta se establece que la totalidad del área productiva se encuentra ubicada sobre una red de recolección de aguas pluviales mediante canales y sistemas de captación desde las edificaciones con el objetivo de excluir las posibles inundaciones internas y canalizar estas aguas hacia el canal de incorporación a la cuenca Caunao.

Este canal de salida está conectado a una depresión del terreno con profundidad media de 17 m y un área de 90 m x 85 m, con un volumen de llenado máximo estimado de 130 000 m^3 (según datos de proyecto civil).

En el plano de la fig. 3.12 se muestran los trazados de las redes pluviales (amarillo) y albañales en (verde), como se puede observar existe separación física entre ambos sistemas ya que las aguas albañales pasan obligatoriamente por las lagunas de oxidación y la descarga se une a la pluvial en una depresión (micropresa) antes de ser enviadas a la cuenca Caunao.

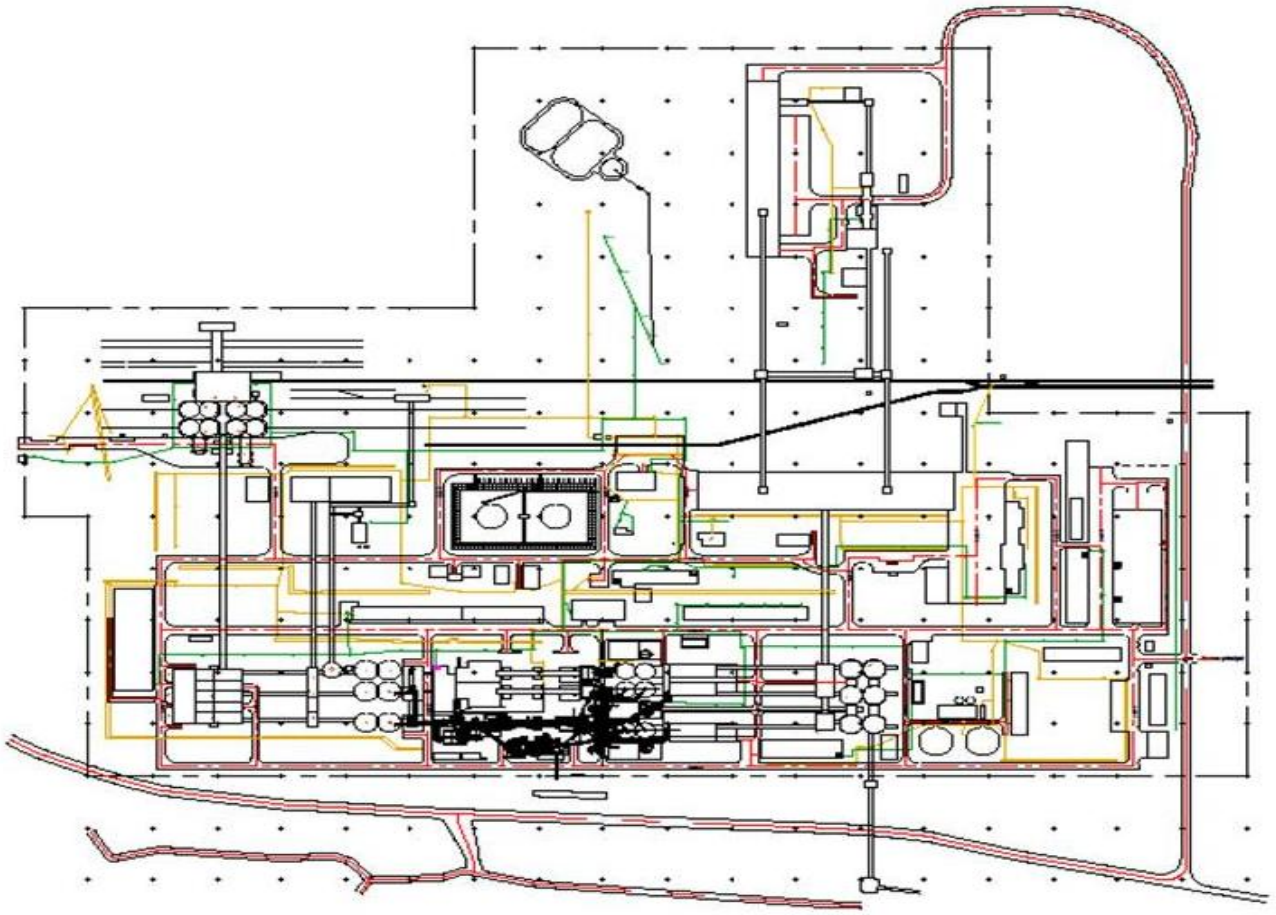


Fig. 3.12 Ubicación de las redes de escorrentías pluviales (amarillo) en el emplazamiento.

Fuente: Registro ambiental de Cementos Cienfuegos S.A

Para la determinación del volumen de agua anual recolectada se parte de la determinación de la precipitación promedio mensual a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 ó 15 años. Este valor se expresa en litros por metro cuadrado y por mes que es capaz de colectarse en la superficie horizontal del techo.

En el caso de Cementos Cienfuegos S.A. las precipitaciones tienen un comportamiento análogo a las temperaturas con dos períodos bien definidos: Lluvioso de mayo a octubre y Seco de noviembre a abril, con una media anual de 1400 a 1500 mm. El promedio para el período Lluvioso es de 900 a 1000 mm y para el período Seco es de 200 a 250 mm. El promedio de días con lluvia en el año es de 132 días.

Considerando una relación de recolección establecida para edificaciones y plazoletas donde 25 mm de lluvia en 1 m^2 recolecta 8.55 l (1.9 gal) de agua lluvia, las instalaciones de Cementos Cienfuegos S.A. con un área no verde de 330 000 m^2 y una media anual de 1450 mm de precipitación anual, tiene potencialidad de acumular 163 647 m^3 de agua.

El embalse de esta agua permite ahorrar por concepto de reutilización 33 259 CUC /año ya que este volumen se dejaría de bombear desde Codica (ahorro por compra y por gasto en electricidad para el bombeo).

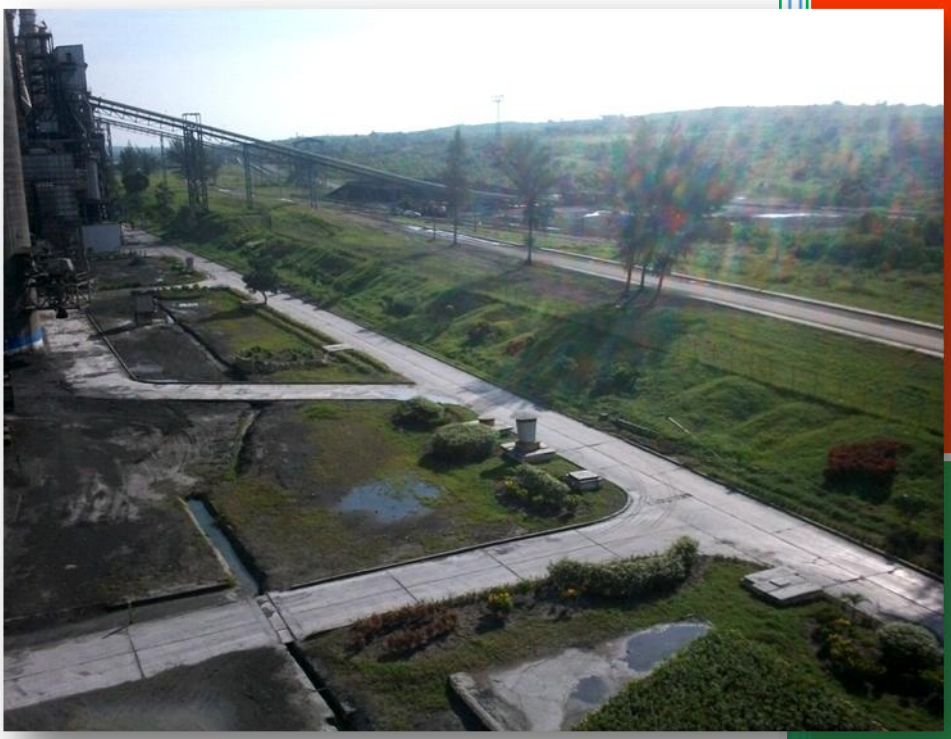
Además como el volumen de embalse es inferior al volumen con potencialidad de recolección se tendría un aporte por reboso de más de 33 000 m^3 que sería el aporte obligatorio de agua a la cuenca.

Para desarrollar este sistema solo se necesita restablecer la cortina de la micropresa de aproximadamente 5 m con un espesor de 4 m y altura de 3.7 m, para lo que es necesario un volumen de árido de 150 m^3, que será extraído de las propias canteras de la fábrica en camiones de 60 ton (3 viajes), con un costo despreciable para la empresa.

Conclusiones del Capítulo:

1. El índice de consumo general de agua utilizado en Cementos Cienfuegos SA es de 0.35 m^3 de agua / ton de Clinker, lo que no es representativo de desempeño real de la empresa al computarse a partir del consumo total de la empresa y no del consumo de los procesos productivos.
2. Sectorizar la medición del consumo por procesos permitirá tener un índice de consumo por cada uno y así establecer una estrategia de ahorro más efectiva.
3. El reaprovechamiento del agua de las lagunas en las torres estabilizadoras y el riego de la jardinería requiere una inversión de 30 700.45 CUC la cual se amortiza en 8 meses con un ahorro estimado en el primer año de funcionamiento de 12 270.12 CUC; el resto de los años tendremos una ganancia neta de 49 081.152 CUC.
4. La sustitución total de la conductora de agua requiere una inversión de 161 917.98 CUC la cual se amortiza en cuatro años con un ahorro anual de 41 399.92 CUC.
5. El embalse del agua pluvial no requiere inversión, permite ahorrar por concepto de reutilización 33 259 CUC/año.
6. El resto de las acciones de producción más limpia representan los siguientes ahorros :
   - Instalación del contador en el colector de las purgas requiere una inversión de 1 300.00 CUC y ahorros de 1360.00 CUC/anuales, amortizándose en un año.
   - Rehabilitación del sistema de bafles en la torre de enfriamiento con una inversión de 7 000.00 CUC, reporta ahorros mensuales de 388.88 CUC, amortizándose la inversión en 18 meses.
   - El tratamiento del agua en la torre de enfriamiento requiere una inversión de 7 000.00 CUC, con ahorros anuales de 4568.00 CUC, amortizándose en 20 meses.
   - El cambio de la totalidad de los baños requiere una inversión 3 825.28 CUC se amortiza en cuatro años con un ahorro mensual de 79.69 CUC.

Conclusiones Generales.



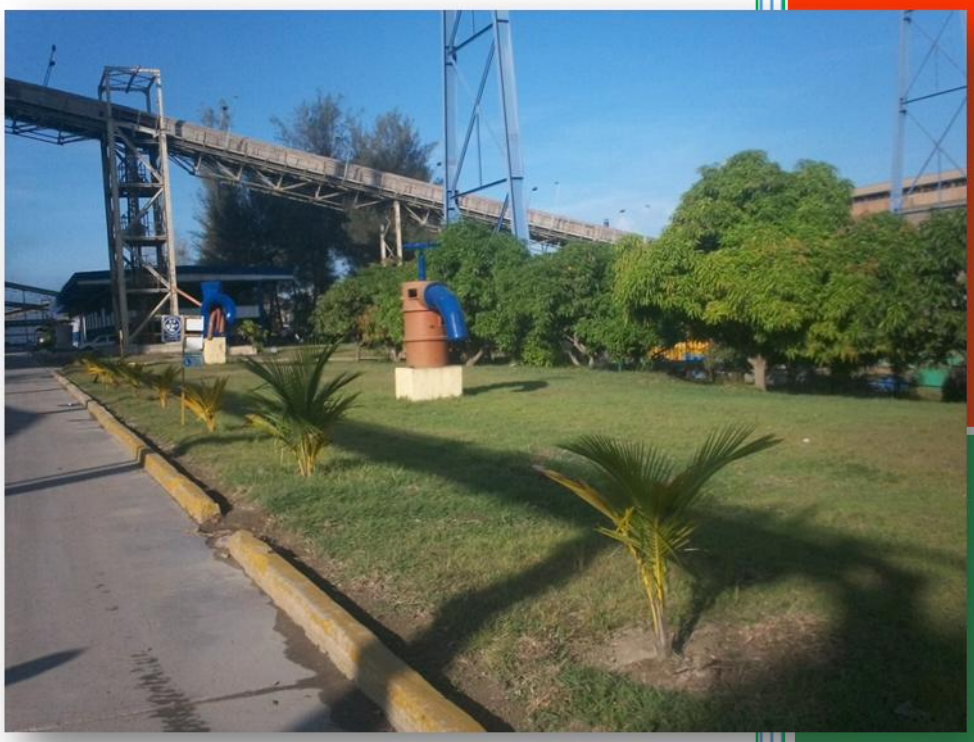
"Toma consejo del vino,
pero decide después con agua."

Benjamín Franklin

Conclusiones Generales.

1. Implementar acciones para el ahorro de agua en las empresas cementeras de proceso seco, es pertinente, aunque no sea el pago del agua un componente principal en los costos de las mismas.
2. El potencial de ahorro de agua identificado en la evaluación de PML realizado al consumo de agua en Cementos Cienfuegos SA es de 1075321.9 m^3 de agua que permitirá un ahorro de 193557,942 CUC
3. El potencial de ahorro de energía eléctrica utilizado para el bombeo es de 397869,103 kWh lo que representa un ahorro de 66682,86 CUC
4. Las inversiones requeridas para la implementación de las acciones propuestas son del orden de 207918,43 CUC y se amortizan en 10 meses.

Recomendaciones.



"Lo que sabemos es una gota de agua;

lo que ignoramos es el océano."

Isaac Newton.

Recomendaciones.

1. Terminar la sectorización de las mediciones del consumo de agua en la empresa Cementos Cienfuegos SA.
2. Elaborar y aplicar una estrategia integral para el ahorro de agua en la empresa Cementos Cienfuegos SA

Bibliografía.

"Yo no bebo agua,

los peces fornican en ella."

W. C. Fields.

BIBLIOGRAFÍA.

Bosworth, B. Hacia la gestión sostenible de los recursos hídricos experiencias con las directrices de la comisión europea. 2003. [Internet]. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/euro.pdf. (Acceso Febrero 2011)

Comisión Europea. (1999) Hacia la gestión sostenible de los recursos hídricos: Un enfoque estratégico. Directrices para la Cooperación para el Desarrollo de los Recursos Hídricos Bruselas, Bélgica.

Willmott, C. J. and J. J. Feddema, 1992. A More Rational Climatic Moisture Index. Professional Geographer, 44(1), 84-88.

Prats Rico, D. Problemática del Agua. Situación y Perspectivas.(2009). Memorias XI Jornadas de Estudios de Asociación de Profesores Jubilados de Escuelas Universitarias. Alicante 2009. Pág. 14 – 41. ISBN: 978-84-692-3137-1. 247 páginas.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Programa Nacional de Consumo y Producción Sostenible. 2010 – 2015. Julio de 2010 [Internet]. La Habana, Cuba. 100 páginas. Disponible http://www.redpycs.net/MD_upload/redpycs_net/File/Politicas_y_herramientas/prog.%20nac.%20cps%20y%20er%20cuba%20%202010%20oct%202010.pdf. (Acceso Febrero 2011)

CITMA. Situación ambiental cubana 2004. 2004. [Internet]. La Habana, Cuba. 70 páginas. Disponible http://www.medioambiente.cu/download/ 2004/informecompleto.pdf. (Acceso Febrero 2011)

República de Cuba. III Informe Nacional Comité de Revisión Implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía.(2006) [Internet]. La Habana, Cuba. 49 páginas. Disponible http://www.unccd.int/cop/reports/lac/national/2006/cuba-spa.pdf. (Acceso Febrero 2011)

Dirección Cuencas Hidrográficas. Servicio Hidrológico Nacional. Boletín Hidrológico. Diciembre 2010. (2010). [Internet]. La Habana, Cuba. 16 páginas. Disponible http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/ Boldic09.pdf. (Acceso Febrero 2011)

World Wide Fund for Nature (WWF). Informe planeta vivo 2008. [Internet]. 2008. Edición en español coordinada por WWF Colombia. Bogota, Colombia. [Cited 2011 Feb 15]. Available from http://assets.panda.org/downloads/lpr_2006_spanish.pdf

Partido Comunista de Cuba (PCC). Proyecto de Lineamientos de la política económica y social del PCC. [Internet].2009.La Habana, Cuba. [Cited 2011 Feb. 15].Available from http://www.cubadebate.cu/ noticias/2010/11/09/descargue-en-cubadebate-el-proyecto-de-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-del-pcc/

BAUMANN, D. D.; BOLAND, J. J.; SIMS, J. H., (1980). "The Problem of Defining Water Conservation". The Cornett Papers. University of Victoria, Victoria B.C., pp. 125-134.

Tate, Donald. M. Principios del Uso Eficiente del Agua. (1991) Memorias de Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua. Primera parte, Capitulo 2. México DF, Estados Unidos Mexicanos. Pag 23 a 36. 210 páginas.

Sánchez L. y Sánchez A. Uso Eficiente Del Agua. 2004. IRC International Water and Sanitation Centre. Ponencia sobre una perspectiva general temática. Amberes. Holanda ISBN: 978-90-6687-060-4. 76 páginas.

Global Water Partnership (GWP).. Los principios de Dublín reflejados en una evaluación comparativa de ordenamientos institucionales y legales para una gestión integrada del agua. (2001). [Internet]

http://www.cepis.org.pe/bvsarg/e/fulltext/dublin1/dublin1.pdf

Visscher, J.T., IRC, CARE Ecuador, Universidad del Valle, CINARA. (1996) Evaluación Participativa de 40 Sistemas de Agua y Saneamiento en la República del Ecuador. Colombia. IRC

Sánchez, A., Smith S., Sánchez L. D. (2003). Reconocer la Realidad: el uso múltiple de los sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales. Conferencia internacional

Agua 2003: Uso Múltiple del Agua para la vida y el desarrollo sostenible. Cartagena de Indias, Colombia.

Dickinson, M.A. (2003). 'Abstract: The Multiple Benefits of Water Efficiency: Environmental Improvements to the Watershed'. In: II International Conference Efficient Use and Management or Urban Water Supply. International Water Association. Tenerife, Canary Island, Spain.

Montaño, J. Guía de ahorro y uso eficiente del agua. 2002. Editorial Clave. Medellín Colombia. 36 páginas. ISBN 97000-5-5

Muños Blas, A. Ahorro y consumo eficiente de agua en la empresa. 2010. Paralelo Edición, SA. Madrid, España. 50 páginas. Depósito legal: M-27286-2010

Francisco Martín, W; López Bastida, E y Monteagudo Yanes, J. Gestión y uso racional del agua. 2006. Editorial UNIVERSO SUR. Universidad de Cienfuegos. ISBN 978-959-257-179-2. 124 páginas.

Decreto – Ley 138 /1993 De las aguas Terrestres. 1993. [Internet]. http://www.medioambiente.cu/oregulatoria/cica/legislacion/Decreto%20Ley%20138.pdf. Accesado Febrero 2011.

State of North Carolina. Water Efficiency Manual for Commercial, Industrial and Institutional Facilities. 2009. Publication of the Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance and Division of Water Resources of the N.C. Department of Environment and Natural Resources, and Land-of-Sky Regional Council. Raleigh, Carolina del Norte, USA. 150 páginas.

http://drinking-water.org/html/es/Sources/Water-Harvesting-Delayed-Runoff.html(Disponible

http://www.ecotec2000.de/espanol/water.htm

http://bvs.per.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-06.pdf

http://www.google.es/search?q=recolecci%C3%B3n+de+aguas+pluviales&hl=es&gl=cu&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=w0rNTvvfE9CeOoef5ZsP&ved=0CCcQsAQ&biw=1280&bih=822

http://www.soliclima.com/reciclaje_aguas.html

http://www.google.es/search?q=TRATAMIENTO+de+aguas+pluviales&hl=es&gl=cu&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=zU_NTu7WEY-aOpXY_ZAP&ved=0CFIQsAQ

http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf

http://maps.google.es/

http://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf