



RESUMEN

El trabajo realizado es un programa de control de calidad de agua de consumo en calderas realizado 100% en Microsoft Excel, utilizando herramientas de programación básica pero enfocada a la toma de decisiones a partir de datos cotidianos del análisis de agua.

El simulador convierte datos puntuales a un sistema de información de fácil utilización e interpretación cuya aplicación ha sido de gran utilidad alcanzando su implementación en la empresa papelera Cartopel S.A.I. situada en el parque Industrial de Cuenca - Ecuador.

La toma de decisiones e interpretación de los datos ha sido rediseñada pasándolos de interpretaciones empíricas a un sistema lógico mediante la elaboración de un algoritmo a partir de los límites de control de los parámetros del agua de alimentación de calderas, por lo que se mejora rotundamente el control de calidad de los parámetros del agua, utilizando herramientas visuales como la semaforización y señalización de los valores ingresados en el sistema de almacenamiento partiendo de una base de datos y analizándolos mediante tablas dinámicas.

Los resultados obtenidos son muy satisfactorios ya que ha facilitado la toma de decisiones aumentando el control de calidad de los parámetros de calidad así como disminuyendo la probabilidad de daños en las calderas consiguiendo así un sistema informático de control total de calidad.

Palabras clave: Software, calidad, control, decisión, información, calderas.



ABSTRACT

The work is a program of quality control of water supplies in boilers made 100% in Microsoft Excel, using basic programming tools but focused on making decisions based on daily data of water analysis.

This simulator converts data point to a system of user-friendly information and interpretation whose application has been useful in reaching its implementation in the paper company IAS Cartopel Industrial Park located in Cuenca - Ecuador. Decision-making and interpretation of data has been redesigned empirical interpretations by passing a logical system by developing an algorithm based on control limits of the parameters of boiler feed water, so strongly improves the quality control of water parameters, using visual tools such as traffic lights and signaling entries from the storage system based on a database and analyzed using pivot tables.

The results are very satisfactory as it has facilitated decision making by increasing the quality control of the quality parameters as well as decreasing the likelihood of getting boiler damage a computer system and total quality control.



ÍNDICE

CAPÍTULO I NATURALEZA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS.

1.1 INTRODUCCIÓN.

1.2 NATURALEZA DEL AGUA:

1.3 IMPUREZAS DEL AGUA.

1.3.1 LA TURBIEDAD

1.3.2 EL COLOR

1.3.3 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.

1.3.4 SÓLIDOS DISUELTOS.

1.3.4.1 Durezas.

1.3.4.2 Acidez o alcalinidad..

1.3.4.3 Sílice.

1.3.4.4 Sales de sodio y potasio

1.3.4.5 Sulfuro de hidrógeno

1.3.4.6 Hierro

1.3.4.7 Manganeseo.

1.3.5 GASES DISUELTOS.

1.3.5.1 Bióxido de carbono

1.3.5.2 Oxígeno

1.3.6 SUSTANCIAS ORGÁNICAS.

1.3.6.1 Organismos vivos.

1.3.7 GLOSARIO DE TÉRMINOS COMUNES EN TRATAMIENTO DE AGUAS

1.4 CALDERAS, DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

1.4.1 LAS CALDERAS PIROTUBULARES:

1.4.2 LAS CALDERAS ACUOTUBULARES.



1.5 EFECTOS DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA EN UNA CALDERA.

1.5.1 INCRUSTACIONES.

1.5.1.1 INCRUSTACIÓN Y EFECTOS DE LA MISMA.

1.5.1.2 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.

1.5.1.2.1 Evitar el uso de agua dura en la caldera.

1.5.1.2.2 Control de la concentración de impurezas.

1.5.1.2.3 Tratamiento externo.

1.5.1.2.4 Tratamiento interno.

1.5.1.3 CONTROL DE LAS INCRUSTACIONES.

1.5.1.3. Dureza total:

1.5.1.3.2 Sílice

1.5.2 CORROSIÓN.

1.5.2.1 CORROSIÓN Y EFECTOS DE LA MISMA.

1.5.2.1.1 Corrosión acida.

1.5.2.1.2 Corrosión por oxígeno

1.5.2.2 PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN.

1.5.2.2.1 Corrosión y tratamiento después de la caldera.

1.5.2.3 CONTROL DE LA CORROSIÓN.

1.5.2.3.1 pH.

1.5.2.3.2 oxígeno disuelto

1.5.2.3.3 conductividad y STD

1.5.3 FRAGILIZACIÓN CAÚSTICA

1.5.3.1 Efectos de la fragilización cáustica.

1.5.3.2 Prevención de la fragilización cáustica.

1.5.3.3 Control de la fragilización cáustica.

1.5.3.3.1 ALCALINIDAD



1.5.4 ARRASTRE DE SÓLIDOS.

1.5.4.1 Prevención del arrastre se sólidos.

1.5.4.2 Control del arrastre de sólidos.

1.5.4.2.1 Hierro.

CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS-CARTOPEL.

2.1 INTRODUCCIÓN.

2.2 DESCRIPCIÓN DE ESPECIFICACIONES DE CALDERAS
EXISTENTES.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN
LA EMPRESA CARTOPEL.

2.3.1 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CAPTACIÓN DE AGUA.

2.3.2 SISTEMA DE FLOCULACIÓN.

2.3.2.1 Principio de funcionamiento.

2.3.2.2 Descripción de la unidad de floculación cartopel.

2.3.3 SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN.

2.3.3.1 Conceptos Generales

2.3.3.2 Descripción del sistema de sedimentación Cartopel.

2.3.4 UNIDAD DE DOSIFICACIÓN DE CLORO DEL AGUA.

2.3.5 UNIDAD DE FILTRACIÓN DEL AGUA.

2.3.5.1 Principio de funcionamiento.

2.3.6 UNIDAD DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA.

2.3.7 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA.

2.3.8 UNIDAD DE DESAIREACIÓN.

CAPÍTULO III



DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO EN CALDERAS DE CARTOPEL S.A.I.

3.1 INTRODUCCIÓN.

3.1.1 Personal

3.1.2 Laboratorio.

3.1.3 Gestión de productos químicos utilizados.

3.2 CONTROL ANALÍTICO DEL TRATAMIENTO DE AGUA.

CAPÍTULO IV ELABORACIÓN DE UN SISTEMA INFORMÁTICO DE INGRESO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

4.2. REQUERIMIENTOS DEL NUEVO PROGRAMA.

4.3 ETAPA DE DISEÑO.

4.4 ETAPA DE ELABORACIÓN

4.4.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

4.4.2 PARÁMETROS, EQUIPOS Y RANGOS DE CALIDAD A CONTROLARSE.

4.5 ALMACENAMIENTO DE DATOS.

4.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.

4.5.2 DESCRIPCIÓN DE BASE DE DATOS UTILIZADA.

4.5.3 NORMAS DE SEGURIDAD EN PROTECCIÓN D E DATOS.

4.6 EXPLORADOR DE REGISTRO.

CAPÍTULO V ANÁLISIS DE DATOS.

5.1 GENERADOR DE REPORTE.

5.2 PARÁMETROS DEL REPORTE.

5.3 EQUIPOS A REPORTARSE.

5.4 DISEÑO DEL REPORTE.



5.6 PANEL PRINCIPAL DE ESTADO DE CALIDAD DE AGUA.

**CAPÍTULO VI
SISTEMA DE TOMA DE DECISIONES BASADOS EN MEDIDAS DE SÍLICE,
Alcalinidad OH Y CONDUCTIVIDAD.**

6.1. RELACIÓN ENTRE ALCALINIDAD, SÍLICE, Y CONDUCTIVIDAD.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PURGAS.

6.2.1 SUAVIZACIÓN INTERNA POR PRODUCTOS QUÍMICOS.

6.3 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE ALCALINIDAD Y NÚMERO DE PURGAS.

6.3.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

6.4 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE SÍLICE Y NÚMERO DE PURGAS.

6.4.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

6.5 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE CONDUCTIVIDAD Y NÚMERO DE PURGAS

6.5.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

6.6 INTERRELACIÓN ENTRE LOS ALGORITMOS DE DECISIÓN.

6.7 PROGRAMACIÓN DE ALGORITMOS EN EL PANEL PRINCIPAL DE EXCEL.

**CAPÍTULO VII
PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES.**

7.1 INTRODUCCIÓN.

7.2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS INFORMÁTICOS NECESARIOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA.

7.3 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.

7.4 ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL.

7.5 CONCLUSIONES.

7.6 RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA INFORMÁTICO PARA CONTROL DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO EN CALDERAS PERTENECIENTES A LA COMPAÑÍA CARTONES NACIONALES S.A.

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

AUTOR:

Noé Rodrigo Guamán Guachichullca.

DIRECTOR:

Ing. James Arias Cisneros.

CUENCA – ECUADOR

2011



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mis padres por haberme inculcado en el camino de la excelencia académica, por el apoyo incondicional que me han brindado en el recorrido que he seguido para lograr alcanzar los objetivos planteados durante la carrera; por haberme impulsado cada día a no desfallecer cuando se presentaron días tormentosos y por la comprensión y diaria motivación que han sido fuentes de inspiración para la elaboración de este tema.



Agradecimiento.

Agradezco a mi madre por haberme apoyado en toda la vida universitaria, a mi padre por brindarme su motivación incondicional para seguir adelante, a mis hermanos por la compañía en los días de soledad, a mis profesores por haberme brindado sus conocimientos para lograr ser un buen profesional, a mis tutores de las pasantías, Ing. Fernando Heredia por haber sido el promotor de la elaboración de este trabajo y al Ing. James Arias por haberme guiado durante la elaboración de esta tesis.



Especial.

En especial esta tesis va dedicada a una persona que ha sido de gran importancia para seguir adelante durante mi vida universitaria y ha estado presente en los buenos y malos momentos, apoyándome y dándome ánimos para alcanzar mis objetivos.
Jenny Rojas gracias por estar conmigo.



INTRODUCCIÓN

La elaboración de esta tesis ha sido realizada en el departamento de planta de Aguas de la empresa Cartopel S.A. ubicada en la ciudad de Cuenca-Ecuador para el control de calidad de agua de los calderos de esta empresa.

La calidad de agua es un factor crítico cuando se la emplea en la generación de vapor ya que los fabricantes de calderas de alta presión recomiendan el uso de agua con unas ciertas normas de calidad para evitar que se deteriore el equipo por factores presentes en el agua detalladas en el capítulo I, para esto la empresa cuenta con un sistema de tratamiento de agua siguiendo un proceso que hace que el agua cumpla con las condiciones, para lo cual se hacen análisis de laboratorio para la recolección de datos de calidad de agua para verificar la situación actual del proceso.

El manejo de datos en la actualidad ha sido automatizado en la gran mayoría de industrias, pero por su costo, adquisición y compatibilidad de los programas informáticos con un sistema específico a controlar en el mercado ha llevado a la necesidad de desarrollar herramientas informáticas para el control de procesos específicos haciendo que el manejo de datos genérico en las empresas no sea universal por la variación de condiciones.

El manejo de datos puntuales en un proceso es relativamente fácil haciendo que sea una tarea rutinaria por parte de los receptores que en el caso de la empresa y este trabajo son el personal que analiza la calidad de agua, pero transformar estos datos en un sistema de información que me brinde una respuesta a una problemática a partir de los datos ingresados es algo más difícil de realizar por lo que esta tesis se enfoca en la conversión de datos puntuales a un sistema de información que relaciona las variables o parámetros medidos del agua dando como resultado la respuesta a una cierta combinación de situaciones, además de convertirse en un generador de reportes creado 100% en una herramienta global informática como es Microsoft Excel, utilizando conocimientos de manejo de información, control de calidad y programación básica adquiridos en la universidad.



CAPITULO I

NATURALEZA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los conceptos y definiciones que se detallarán en este capítulo, fueron sacados de revistas especializadas de tratamiento de agua, así como de libros y manuales de calderas, información que se utilizará para la comprensión de los efectos de la calidad de agua en el correcto funcionamiento de las calderas.

Los usos del agua en la industria son muy variados y no se han encontrado estadísticas en nuestro país acerca de sus destinos en la industria por lo es muy difícil determinar la importancia de cada uno de los usos específicos. En general se puede afirmar, que el empleo de agua en la industria se refiere a: enfriamiento, proceso, generación de vapor, usos sanitarios, servicios y otros propósitos, etc.

Muchas plantas usan agua cruda procedente de ríos o lagos como agua de aportación de caldera. Esta agua cruda se trata externamente por sedimentación, filtración, ablandamiento y eliminación de gases disueltos para quitar parámetros presentes en el agua que afectan a correcto funcionamiento de las calderas y más aún la adecuación de la calidad del agua se convierte en un factor muy importante al tratarse de calderas de alta presión.

1.2 NATURALEZA DEL AGUA:

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para la industria, porque, salvo en casos raros, no es suficientemente pura. A su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de: materias en suspensión o en solución, partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos, sales disueltas (cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso), materias orgánicas (ácidos húmicos, residuos de fabricación), gases. [1]

Se presentan seguidamente a modo de ejemplo, dos análisis cualitativos a un agua de superficie y a un agua de pozo:

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	AGUA RIO	AGUA DE POZO
Temperatura	°C	14	9.5
Turbiedad	NTU	18	0.2
color	mg/l Pt-Co	30	10.0
Materias en suspensión	mg/l	25	0.4
PH		8	6.7
Dureza Total	mg/l	220	800
Dureza de Ca	mg/l	170	710
Dureza de Mg	mg/l	50	90
Alcalinidad T.	mg/l	200	350
Cloruros	mg/l Cl	25	70.0
Sulfatos	mg/l S04	18	330.0
Hierro	mg/l Fe	1.4	3.5
Manganeso	mg/l Mn	trazas	1.2
Amoniaco	mg/l NH3	0.7	1.5
Nitritos	mg/l NO2	0.2	trazas
Nitratos	mg/l NOS	3.0	1.0
C02 libre	mg/l	4.0	135.0
C02 disuelto	mg/l	9.5	ausencia
Oxidabilidad al permanganato en caliente en medio ácido	mg/l O2	7.5	1.5

Tabla 1.1 Diferencia entre aguas superficiales y profundas.[1]

[1] Revista ,ECUATORIANA DE PETROLEOS CIA LTDA.



1.3 IMPUREZAS DEL AGUA.

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea.

Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impureza presente el agua puede aparecer como turbia o coloreada o ambas.

1.3.1 LA TURBIEDAD

La turbiedad no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos.

La turbiedad causa los siguientes problemas:

- Interfiere con la potabilización.
- Forma depósitos en tanques de almacenamiento.
- Antiestética para el agua potable.
- Genera incrustaciones en sistemas de enfriamiento.

1.3.2 EL COLOR

El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas con las cuales entra en contacto. El conocimiento de la naturaleza y características de estos contaminantes es básico para poder entender los procesos de remoción de se describirá luego.

Las razones por las cuáles se suele hacer la remoción del color en el agua son de orden estético químicas-sanitario e industrial.

La calidad del agua es juzgada por los tipos y niveles de concentración de los muchos componentes que pueden estar presentes en el agua; algunos de estos componentes se producen en la naturaleza y algunos son generados por la tecnología humana. Lo que la mayoría de nosotros simplemente llamamos "basura en el agua" es en realidad estudiada cuidadosamente por expertos en el tratamiento del agua.[2]

[2] ARBOLEDA VALENCIA Jorge, "Teoría y práctica de la purificación del agua". 1ra ed; Gainesville, Florida: Editorial ACODAL, 1992.Pag. 1 en adelante.



1.3.3 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.

Los sólidos en suspensión son materiales dispersos en el agua que se puede extraer del agua con filtros. Estos materiales consisten a menudo en gran parte por pequeñas partículas de barro, humus, aguas residuales y residuos industriales. Muy bien sólidos en suspensión son llamados turbidez. Según las revistas especializadas, el agua potable debe tener turbidez inferior a 10 ppm (partes por millón) con el fin de darle un aspecto transparente.[2]

1.3.4 SÓLIDOS DISUELTOS.

Son las sales disueltas en el agua y son una de las sustancias de las más difíciles de remover, cuando se requiere usar estas aguas en procesos industriales.

Las principales sales disueltas en el agua son:

1.3.4.1 Durezas.

Los contenidos de sales de calcio y magnesio expresados como ppm de carbonato de calcio es lo que se denomina dureza. En general el calcio es más abundante que el magnesio según estudios realizados.

Los carbonatos y bicarbonatos de calcio de magnesio constituyen una dureza temporal, mientras que los cloruros, sulfatos y nitratos son la dureza permanente.

La dureza causa serios problemas en los intercambiadores de calor, por cuanto se adhiere a las paredes de los equipos, formando incrustaciones muy difíciles de remover.[1]

1.3.4.2 Acidez o alcalinidad.

Las aguas contienen generalmente ácidos o álcalis en su composición, los cuales confieren propiedades de acidez o alcalinidad. Dentro de los ácidos se encuentran principalmente el sulfúrico, carbónico y sulfhídrico.

La alcalinidad está constituida por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.[1]

1.3.4.3 Sílice.

Se le encuentra en rangos entre 1-100 ppm, proviene de la disolución de rocas silíceas y por la degradación de feldespato, debido a la acción de CO₂. (Anhídrido Carbónico).



En los intercambiadores de calor, la sílice produce incrustaciones extremadamente duras y por lo tanto de difícil remoción.[1]

1.3.4.4 Sales de sodio y potasio

Son muy solubles en el agua, por lo que no producen incrustaciones, pero en cambio confieren gran corrosividad al agua.[1]

1.3.4.5 Sulfuro de hidrógeno

Proviene de la degradación bacteriana de la materia orgánica. Confiere mal olor y corrosividad.[1]

1.3.4.6 Hierro

Se presenta generalmente en aguas subterráneas en forma de bicarbonato ferroso. Concentraciones muy bajas como 0,3 ppm ya producen problemas según estudios de expertos, por cuanto cuando las aguas subterráneas, generalmente incoloras, se ponen en contacto con el aire, precipita hidróxido férrico de color amarillo-rojizo, que produce problemas en los intercambiadores de calor.[1]

1.3.4.7 Manganeso

Produce problemas parecidos al hierro, precipita como hidróxido, a lo que se conoce como "aguas negras"; se lo encuentra con menos frecuencia que el hierro, pero los expertos han estudiado que en concentraciones de 0,2 ppm ya produce depósitos.

El manganeso se forma por la descomposición de materia orgánica en reservorios de aguas, como represas por ejemplo, cuando no existe la suficiente renovación de las aguas.[1]

1.3.5 GASES DISUELTOS.

1.3.5.1 Bióxido de carbono

Se lo encuentra en toda agua natural, en rangos muy variables. Se produce por la acción de ácidos sobre los bicarbonatos del agua.

La atmósfera contiene aproximadamente 0,04% de CO₂ y como este gas se solubiliza rápidamente en agua, una apreciable cantidad de él se disuelve conforme la lluvia cae a tierra.

El contenido de CO₂ en el agua puede ser incrementado por la materia orgánica en descomposición y por los residuos industriales.[1]



1.3.5.2 Oxígeno

Se encuentra en aguas superficiales aereadas. La solubilidad del oxígeno en agua aumenta conforme disminuye la temperatura.[1]

1.3.6 SUSTANCIAS ORGÁNICAS.

Materias orgánicas tanto vivas como muertas al descomponerse, producen mal sabor y color al agua, esto afecta principalmente cuando el agua va a ser usada para el consumo humano.

En calderos produce problemas de operación como la formación de espuma dentro del mismo.[1]

1.3.6.1 Organismos vivos.

Según los especialistas, las aguas de pozos profundos rara vez poseen microorganismos, no así las aguas superficiales que pueden ser muy contaminadas.

Los microorganismos más frecuentes son las bacterias, algas, hongos, etc..

Entre las bacterias se pueden encontrar aeróbicas, que son las que requieren oxígeno para su proceso de crecimiento y las anaeróbicas, que no pueden vivir en presencia de oxígeno gaseoso libre, sino que tienen que obtener el oxígeno por su crecimiento, descomponiendo o destruyendo substancias como el hierro de que están hechos los equipos.[1]

1.3.7 GLOSARIO DE TÉRMINOS COMUNES EN TRATAMIENTO DE AGUAS [5]

Ablandador: Es un equipo de tratamiento de agua, el cual usa resinas de intercambio ciclo sodio, para eliminar los cationes que causan la dureza (calcio y magnesio).

Alcalinidad: Es la capacidad del agua para aceptar protones (H^+), es por lo tanto la capacidad de neutralizar los ácidos; se caracteriza por la presencia natural de iones carbonatos (CO_3^-), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). Los hidróxidos pueden estar presentes en aguas que han sido ablandadas por el proceso carbonato o que han estado en contacto con concreto fresco. La alcalinidad da una guía para escoger el tratamiento adecuado para un agua cruda o un efluente.

Alumbre: Sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$, una sustancia que comúnmente se utiliza en el tratamiento de las aguas municipales, para provocar que los coloides insolubles, se integren en forma de



partículas de mayor tamaño que puedan ser removidas por asentamiento. Vea también "Floculación".

ASTM: Organización para normalizar " American Society for Testing and Materials ".

Buffer: Es una solución que tiene la propiedad de poca variación en el valor de pH, con cambios en su composición química. También se le llama Amortiguador.

Calcio: Es un elemento metálico, normalmente presente en el agua en forma de carbonato (CaCO_3), produciendo dureza en el agua y posibilidades de incrustación.

Caldera: Es un recipiente a presión, que se usa en sistemas de destilación, para la producción de vapor a partir del agua.

Carbón Activado: Material que se utiliza para adsorber impurezas orgánicas del agua.

Cloración: Es la adición de cloro gas o compuestos de cloro al agua, con el propósito de desinfectarla.

Cloro: Es un elemento químico que se utiliza para matar microorganismos presentes en el agua. A temperatura ambiente y presión atmosférica es un gas amarillo.

Coagulación: Es la adición de sustancias insolubles en el agua, para neutralizar las cargas eléctricas de los coloides y permitir la formación de partículas mayores, que pueden ser eliminadas por sedimentación.

Conductividad: Es una medida de la habilidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medición es el siemen/centímetro. Mhos/cm.

Desionización (desmineralización): Es la eliminación de iones disueltos en el agua. Se logra, pasando el agua a través de recipientes rellenos de resinas de intercambio, las cuales cambian el ión hidrógeno por cationes y el ión oxhidrilo por los aniones.

Dureza: Es la presencia de sales de calcio y magnesio en el agua. La dureza disminuye la capacidad del jabón de producir espuma. Una alta dureza causa problemas de incrustación en calderas y



tuberías e interfiere en procesos de purificación por osmosis inversa.

Dureza de Carbonatos: Dureza en el agua, causada por los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio.

Dureza de no carbonatos: Es la dureza del agua producida por los cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio.

Floculación: La adición de sustancias químicas, para producir un "flóculo", que es un compuesto insoluble que adsorbe materia coloidal y permite su fácil sedimentación

Impurezas Biológicas: Impurezas producidas por organismos vivos: bacteria, virus, algas, protozoarios, hongos microscópicos, etc. y sus sub-productos, incluyendo pirógenos.

Incrustación: Son depósitos minerales que pueden recubrir las partes internas de las calderas, tubería de intercambio de calor y membranas de ósmosis inversa, en donde cierto tipo de agua circula. Consiste principalmente de carbonato de calcio, el cual precipita de la solución bajo ciertas condiciones. Ver Índice de Langelier y de Ryznar.

Inorgánico: Referente a lo mineral, incluyendo todo el material que no es animal o vegetal. Sustancias inorgánicas que normalmente al disolverse, se disocian formando iones.

Materia orgánica: Comprende a las moléculas naturales y artificiales, que contienen carbón e hidrógeno. Toda la materia viva presente en el agua, es de moléculas orgánicas.

pH : Es el logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución.

ppm (partes por millón); Es una de las unidades de medición más comunes en el análisis de agua, en soluciones muy diluidas como es el caso de las aguas naturales es equivalente a mg/l.

Sedimentación: Un tratamiento primario en los sistemas de agua municipal. El agua es mantenida en reposo por un tiempo determinado, para permitir que las partículas sólidas se asienten por gravedad.



Sólidos Suspendidos: Son los sólidos no disueltos y que pueden ser removidos por filtración.

Sólidos totales disueltos: Es la concentración total de los iones disueltos, expresada en unidades de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o en ppm de NaCl o de Na_2SO_4 .

Turbidez: Es una suspensión de partículas muy finas, que obstruye el paso de la luz. Por el pequeño tamaño de estas partículas, se requieren muchos días para que se sedimente.[3]

1.4 CALDERAS, DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Una caldera es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa de calor resultante de la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

Una caldera de alta presión es aquella que genera vapor a una presión mayor de 5 psig ($1.05 \text{ kg}/\text{cm}^2$) manométricos (1,05 atmósferas efectivas o manométricas). Por debajo de esta presión se clasifican como calderas de baja presión. [5]

[3] <http://arturobola.tripod.com/glosa.htm>

[5] LAWRENCE KOHAN Anthony “Manual de calderas, Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimiento y normativas”. Vol. 2. Aravaca (Madrid), España: McGraw-Hill/interamericana de España, 2000. Pag. 721 en adelante.

Aunque se pueden hacer muchas clasificaciones de calderas de acuerdo con diferentes criterios, se puede decir que hay dos tipos generales de calderas: las pirotubulares (tubos de humo) y las acuotubulares (tubos de agua) y dentro de éstas últimas se diferenciará entre calderas con domo agua-vapor y calderas de paso único. Adicionalmente, las calderas se pueden clasificar en alta y baja presión, de vapor saturado o sobrecalentado.

Se entenderá por calderas de alta presión aquellas que operan a una presión superior a 1 bar. Una ventaja de usar calderas de alta presión es la reducción del tamaño de la caldera y de las tuberías de vapor para la misma capacidad de transporte de calor, debido al aumento de la densidad del vapor con la presión. Esto puede ser particularmente importante si los consumidores del vapor están a alguna distancia de la caldera. Además la energía disponible en el vapor aumenta con la presión, algo esencial cuando el vapor se usa en una turbina. [7]



1.4.1 LAS CALDERAS PIROTUBULARES:

Son aquellas en las que los gases de la combustión circulan a través de tubos que están rodeados por agua. Muchas de las calderas pequeñas y medianas de la industria son de este tipo. Los gases de la combustión se enfrían a medida que circulan por los tubos, transfiriendo su calor al agua. La transferencia de calor es función de la conductividad del tubo, de la diferencia de temperatura entre el agua y los gases, de la superficie de transferencia, del tiempo de contacto, etc..

Un ejemplo típico de este tipo de calderas sería la Figura 1.1 en la que se aprecia un pequeño hogar sobre el recipiente con el agua, que a su vez es traspasado longitudinalmente por los tubos de los gases de la combustión.

Las calderas pirotubulares pueden diseñarse con diferentes pasos de los tubos de humos por el recipiente con agua. El hogar se considera el primer paso y cada conjunto de tubos en el mismo sentido un paso adicional (Figura 1.2). Las calderas pirotubulares suelen trabajar hasta unos 20 bares para unas producciones máximas de unas 20 Tm/hr. [7]

[7] <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>

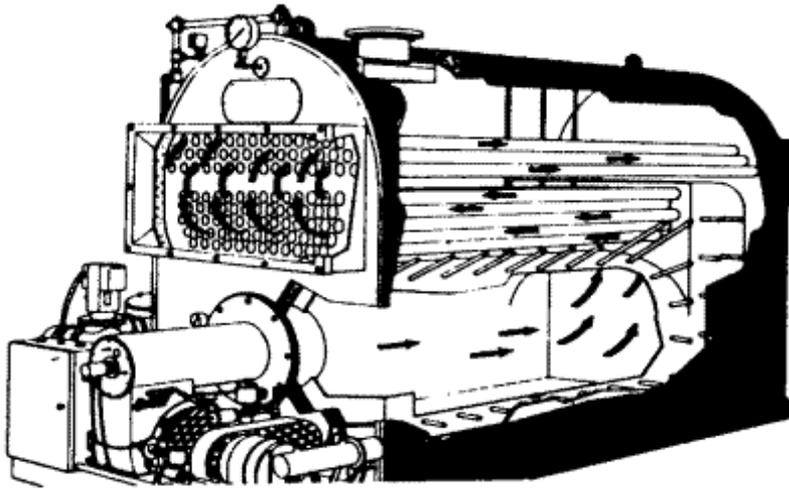


Figura 1.1. Caldera pirotubular

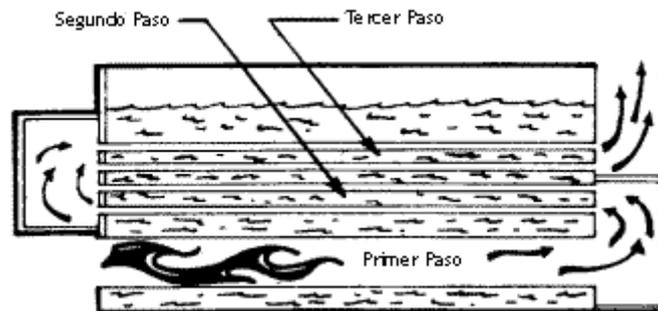


Figura 1.2. Pasos de caldera

1.4.2 LAS CALDERAS ACUOTUBULARES.

Son aquellas en las que el agua circula por el interior de los tubos. Estos tubos están, generalmente conectados a dos domos (Figura 1.3). El domo superior de vapor, en el cual se produce la separación del vapor existente en el agua en circulación, y el inferior de agua, también conocido como domo de lodos al depositarse éstos en él.

[7] <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>

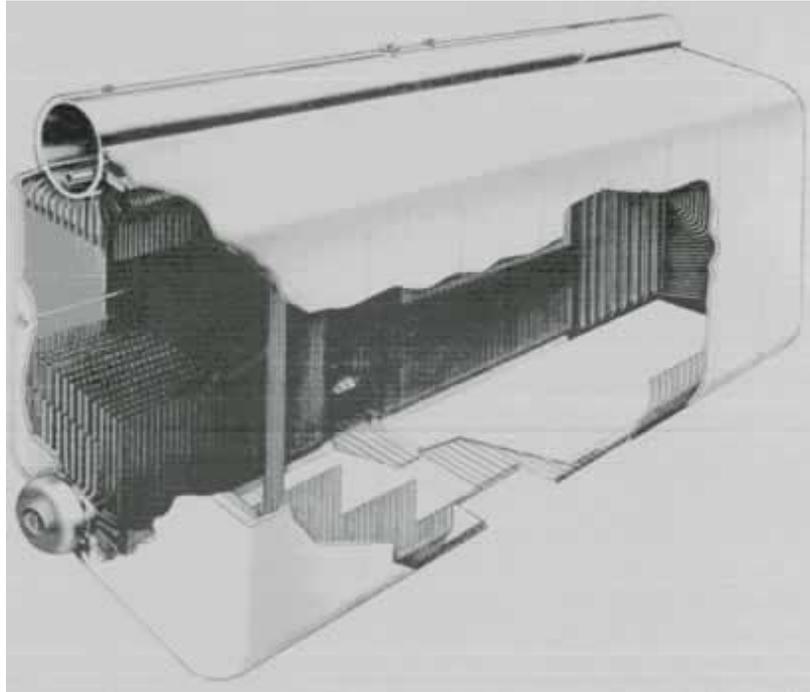


Figura 1.3. Caldera paquete acuotubular

En algunos casos este domo inferior es sustituido por colectores, como es el caso de la caldera de recuperación de la Figura 1.4.

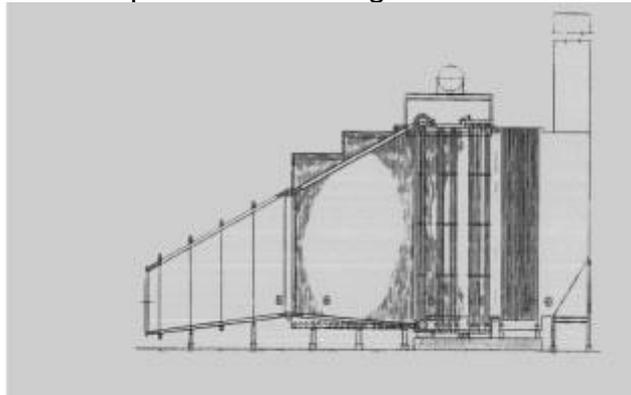


Figura 1.4. Caldera acuotubular de recuperación

Los tubos que unen ambos domos se distribuyen de forma que una parte de ellos queda en el lado caliente de la caldera - zona de la caldera que está en contacto con los gases de la combustión - y otra en el lado frío (Figura 1.5). El agua de los tubos del lado caliente es parcialmente evaporada de forma que dicho vapor asciende hacia el domo superior debido a la menor densidad de éste con respecto al agua.

El agua de la parte fría circula del domo superior al inferior debido a la mayor densidad del agua en esta zona, de forma que se produce una circulación natural de la masa de agua.

Este tipo calderas suelen operar hasta presiones de 100 bares en el caso de las calderas industriales y de 200 en el caso de calderas para centrales térmicas, con unas producciones de 500 Tm/hr y 4000 Tm/hr respectivamente.

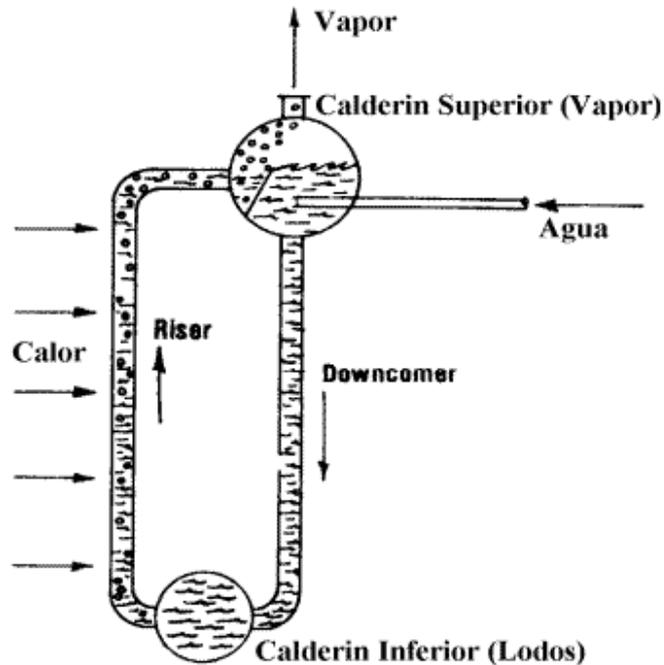


Figura 1.5. Circulación en una caldera acuotubular

Para presiones superiores a las indicadas, a partir de las cuales la circulación desciende rápidamente debido a que las densidades del agua y el vapor son similares, se utilizan calderas acuotubulares de paso único. En estas calderas, la circulación es forzada por un sistema de bombeo que introduce el agua por un extremo y, tras ser calentada, sale en forma de vapor por el otro. Son capaces de trabajar hasta 350 bares de presión. Estas calderas son propias de centrales térmicas por lo que no nos detendremos en más particularidades sobre ellas. [7]

[7] <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>



1.5 EFECTOS DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA EN UNA CALDERA.

Nombre Común	Término Químico	Manifestación(en concentración excesiva)	Símbolo
Cal	Bicarbonato cálcico	Incrustación blanda(se disuelve en ácido carbónico)	
	Carbonato cálcico	Incrustación blanda	
Magnesia	Carbonato magnésico	Incrustación yesosa	
Sílice	Dióxido de silicio	Incrustación ligera, frágil y dura	
Yeso(empaste de parís)	Sulfato cálcico y agua cristalizada	Incrustación suave y dura	
Cloruro magnésico	Cloruro magnésico	Forma ácido clorhídrico con el agua	
Sales de Epson	Sulfato magnésico y agua	Corrosivo	
Sílice	Dióxido de silicio	Incrustación ligera, frágil y dura	
Yeso(empaste de parís)	Sulfato cálcico y agua cristalizada	Incrustación suave y dura	
Cloruro magnésico	Cloruro magnésico	Forma ácido clorhídrico con el agua	
Sales de Epsom	Sulfato magnésico y agua	Corrosivo	
Sal común de mesa	Cloruro sódico	Produce espuma	
Sales de Glauber	Sulfato sódico	Produce espuma	
Cenizas de sosa	Carbonato sódico	Produce espuma	
Soda de hornear	Bicarbonato sódico	Produce espuma	
GAS			
Oxígeno	Oxígeno	Acelera la corrosión electrolítica	O ₂
Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Forma ácido con el agua	CO ₂
Cloro	Cloro	Forma ácido con el agua	Cl
SUSTANCIAS ORGÁNICAS COMO LODOS O VERDÍN			
		Espumas y depósitos	
ÁCIDOS			



Ácido sulfúrico	Ácido sulfúrico	Corrosivo	H ₂ SO ₄
Ácido clorhídrico	Ácido muriático	Corrosivo	HCl
ÁLCALIS			
Hidróxido sódico	Sosa cáustica	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	NaOH
Hidróxido magnésico	Hidróxido magnésico	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	Mg(OH) ₂

Tabla 1.2 Efectos de las impurezas del agua en una caldera.[5]

1.5.1 INCRUSTACIONES.

Los especialistas en el tratamiento de agua clasifican las impurezas por el efecto que producen sobre el lado de agua de las calderas. Las incrustaciones se definen como un depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica en el lado de agua de las calderas producida por las siguientes impurezas sedimentadas o cocidas sobre la superficie de calefacción:

Incrustación dura	Incrustación blanda	Formador de incrustación o corrosión.
Sulfato cálcico	Bicarbonato cálcico	Nitrato cálcico
Silicato cálcico	Carbonato cálcico	Cloruro cálcico
Silicato magnésico	Hidróxido cálcico	Cloruro magnésico
sílice	Bicarbonato magnésico	Sulfato magnésico
	Carbonato magnésico	Nitrato de magnesio
	Hidróxido magnésico	Alúmina
	Fosfato cálcico	Silicato sódico
	Carbonato de hierro	
	Óxido de hierro	

Tabla 1.3 Tipo de incrustaciones [5]

Las sustancias con efectos diversos sobre las superficies de transferencia térmica son los aceites, grasas y la materia en suspensión.

El tercer grupo de impurezas no puede causar incrustación por sí mismo, pero puede ser obligado por otras formaciones de incrustación apareciendo así en la composición de la incrustación. La mayoría es más activa para producir corrosión que incrustación.



1.5.1.1 Incrustación y efectos de la misma.

Químicamente, antes de que alguna impureza pueda incrustarse, debe abandonar la solución y solidificarse de las siguientes maneras:

- Por reducción de solubilidad con incremento de temperatura del agua, en aquellas impurezas clasificadas como de solubilidad negativa.
- Por exceder el punto de saturación de modo que el agua no pueda disolver más impurezas en ese estado y precipite fuera de la solución.
- Por cambios químicos por el calor para formar sustancias insolubles, como los bicarbonatos de calcio y magnesio.

Así, la incrustación puede implicar varios cambios químicos que pueden ocurrir en el agua de caldera.[5]

Hay dos objeciones a la incrustación sobre las superficies calefactoras de calderas:

- La incrustación es un *aislante* muy eficiente del calor, variando el grado de aislamiento con su densidad. Su presencia en grosores apreciables significa menor absorción de calor por el agua de caldera, con la consiguiente pérdida de eficiencia o rendimiento de caldera.
- Debido a que la incrustación es un mal conductor del calor, las superficies de calefacción de caldera aisladas del agua caliente por un lado y expuestas a los gases calientes por el otro, pueden alcanzar pronto temperaturas peligrosamente altas. De hecho, han tenido lugar serios daños: rotura de tubos (Figura 1.6) .

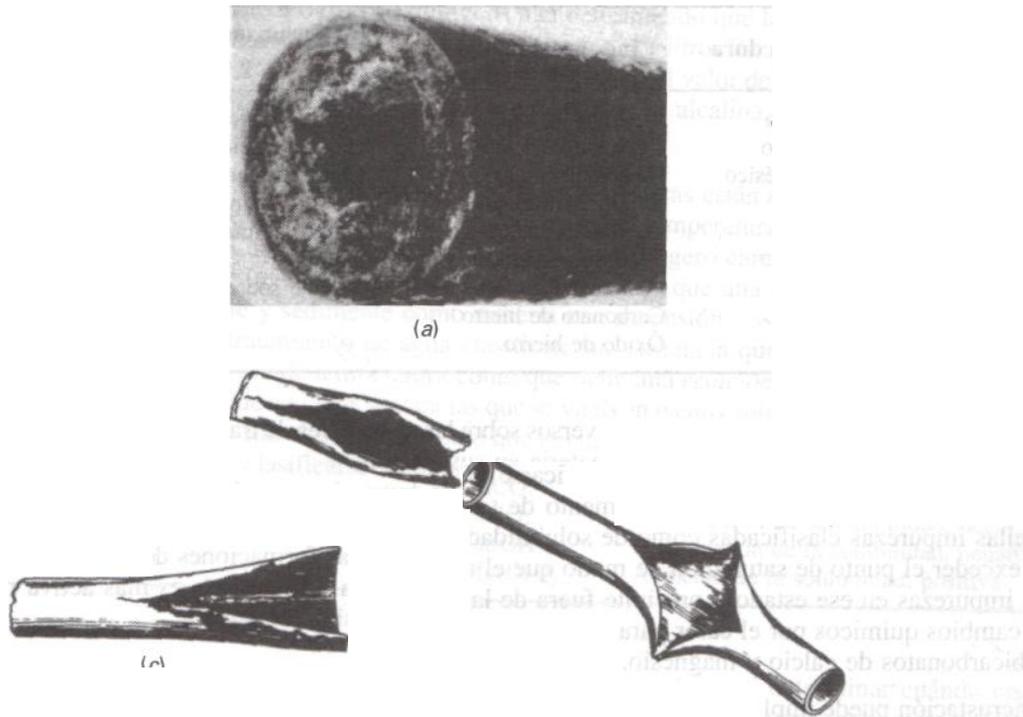


Figura 1.6 Incrustaciones y roturas de tubos, (a) Excesivos depósitos de fosfatos. (b) Depósitos y tubo roto por ataque químico, (c) Daño a largo plazo por sobrecalentamiento, (d) Daño por sobrecalentamiento a corto plazo mostrandorayas de la superficie fracturada.[5]

La formación de incrustación a menudo aumenta con la tasa de evaporación. Así, los depósitos de incrustación a menudo serán mayores donde la temperatura de los gases sea más elevada. Como ejemplo, a menudo un fallo en un tubo de una caldera de tubos de agua de alta presión puede encontrarse en la zona de alta absorción de calor donde se forman las burbujas de vapor. La envolvente de agua que rodea las burbujas contiene ahora las impurezas de la burbuja de vapor y las impurezas que ya tenía en disolución. El área bajo la burbuja de vapor del tubo está momentáneamente seca y esto hace que la temperatura del tubo suba.[5]

1.5.1.2 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.

Los especialistas generalmente sugieren el empleo de las estrategias siguientes en la prevención de la formación de costras:



1.5.1.2.1 Evitar el uso de agua dura en la caldera.

Esta dureza es debida principalmente a la presencia de sales de calcio y magnesio. En análisis de agua, las condiciones de dureza del agua pueden reportarse como no carbonatas y dureza total.

Las unidades de dureza se expresan como ppm equivalentes de carbonato cálcico.

1.5.1.2.2 Control de la concentración de impurezas.

La incrustación disminuye también manteniendo la concentración de impurezas dentro de límites aceptables, usando tratamientos y purga para controlar esta concentración. (Véase la tabla 1.4) para recomendaciones de un comité investigador en sistemas termoeléctricos de la ASME que refleja las concentraciones deseables de impurezas para presiones diferentes en sistemas de calderas.[5]

AGUA DE CALDERA						AGUA DE ALIMENTACIÓN					
Presión de Caldera		Solidos totales ppm	Alcalinidad total, ppm como CaCO ₃	Sílice ppm como SiO ₂		Dureza ppm CaCO ₃		Hierro ppm como Fe	Cobre ppm como Cu	Oxígeno ppm como O ₂	
min	max			max	min	min	max				
0	- 300	3500	700	75	- 50	0	1	0,1	0,05	0,007	
301	- 450	3000	600	50	- 40	0	1	0,1	0,05	0,007	
451	- 600	2500	500	45	- 35	0	1	0,1	0,05	0,007	
601	- 750	2000	400	35	- 25	0	1	0,05	0,03	0,007	
751	- 900	1500	300	20	- 8	0	1	0,05	0,03	0,007	
901	- 1000	1250	250	10	- 5	0	1	0,05	0,03	0,007	
1001	- 1500	1000	200	5	- 2	0	0	0,01	0,005	0,007	
1501	- 2000	750	150	3	- 0,8	0	0	0,01	0,005	0,007	
2001	- 2500	500	100	0,4	- 0,2	0	0	0,01	0,005	0,007	
2501	- 3000	500	100	0,2	- 0,1	0	0	0,01	0,005	0,007	

Tabla 1.4 Límites de impurezas recomendados por un comité investigador de ASME, para agua de alimentación y el agua de calderas, para calderas a diferentes presiones de trabajo.[5]

La incrustación se minimiza también siguiendo los tratamientos químicos externos e internos que se prescriban.

La purga de fondo debe integrarse con el tratamiento químico que produce lodos que deben ser eliminados del agua de caldera.

1.5.1.2.3 Tratamiento externo.

El pre tratamiento del agua puede ser necesario a causa de la variación en el suministro y requerimientos del agua de aportación, tipo de proceso o aplicación del sistema de caldera, presión, capacidad y condiciones similares. Así, el tratamiento externo para la prevención de incrustaciones puede incluir reducción de sólidos en suspensión por filtrado, reducción de durezas por ablandamiento a la cal, ablandamiento por zeolita, equipo de intercambio de iones, desmineralizadores, evaporadores y desaireadores para eliminación de gases y oxígeno.

La tecnología de membranas u osmosis inversa está siendo aplicada también en sistemas de tratamientos externos. Véase la Tabla 1.5 para resultados de posibles tratamientos externos.

Método de tratamiento	Análisis medio del agua tratada				
	Dureza, ppm como CaCO_3	Alcalinidad, ppm como CaCO_3	CO_2 en vapor (potencial)	Sólidos disueltos	Sílice
Cal y sosa en frío	30-85	40-100	Medio-alto	Reducidos	Reducidos
Cal y sosa en caliente	17-25	35-50	Medio-bajo	Reducidos	Reducidos
Cal y fosfato sódico en caliente	1-3	35-50	Medio-bajo	Reducidos	Reducidos
Cal y zeolita en caliente	0-2	20-25	Bajo	Reducidos	Reducidos
Intercambiador de cationes sodio	0-2	No varía	Bajo a alto	No varía	No varía
Desalcalinizador amónico	0-2	15-35	Bajo	No varía	No varía
Desalcalinizador -separador de	0-2	oct-30	Bajo	Reducido	No varía
Desmineralizador	0-2	0-2	0-5 ppm	0-5 ppm	Por debajo de 0.15
Evaporador	0-2	0-2	0-5 ppm	0-5 ppm	Por debajo de 0.15

Tabla 1.5 Resultados de posibles tratamientos externos.[5]

1.5.1.2.4 Tratamiento interno.

La selección de productos químicos para evitar incrustaciones con tratamiento interno está dirigida al control de las impurezas minerales que se deslizan pasando el programa de pre tratamiento o tratamiento secundario.



1.5.1.3 Control de las incrustaciones.

Los especialistas en el control de calidad de agua sugieren controlar los siguientes parámetros:

1.5.1.3.1 DUREZA TOTAL:

Se define como la combinación de calcio y magnesio disueltos en el agua.

Análisis: titulación.

Unidad: ppm como CaCO_3 .

Límites: menor a 10

Causa: El sistema de generación de vapor requiere que haya muy poca dureza en el agua de alimentación, ya que el calcio y magnesio formarán incrustaciones una vez dentro de la caldera. La incrustación se forma por que la temperatura del agua se ha elevado hasta un punto en que la dureza ya no es soluble y se precipita, se convierte en sólidos en suspensión y se deposita sobre las superficies de los tubos.

1.5.1.3.2 SÍLICE:

Análisis: Espectrofotometría (DR 2000).

Unidad: ppm como SiO_2 .

Límites: menor a 100

Causa: La presencia de sílice resulta indeseable en el agua de alimentación a calderas, ya que si no se observan los límites de control recomendados, la sílice puede formar una incrustación muy densa y dura que provoca serias pérdidas de eficiencia por una deficiente transferencia de calor.

1.5.2 CORROSIÓN.

La corrosión es la segunda causa de problemas del agua de caldera después de la formación de incrustaciones. Mientras que hay muchas causas de corrosión por el agua de caldera, incluyendo reacciones químicas provenientes de la mala dosificación de los productos químicos, las causas de corrosión pueden agruparse por su ataque sobre las superficies metálicas de caldera. [5]

1.5.2.1 Corrosión y efectos de la misma.

La corrosión en calderas es el deterioro del metal por reacción química. El metal es disuelto o «comido». El efecto corrosivo puede debilitar seriamente al metal, de modo que puede ocurrir un fallo inesperado de una parte del recipiente a presión de la caldera. En esta sección se revisarán las principales causas de corrosión, tales como:

- La acidez relativa del agua de caldera.
- La presencia de oxígeno disuelto en el agua de caldera.

1.5.2.1.1 Corrosión acida.

La detección de la corrosión acida, además de la inspección visual, depende de varias pruebas que hay disponibles para cuando las condiciones acidas se presenten, de forma que el operador, con asistencia de especialistas en tratamiento, pueda emprender acciones antes de que se produzcan daños serios.

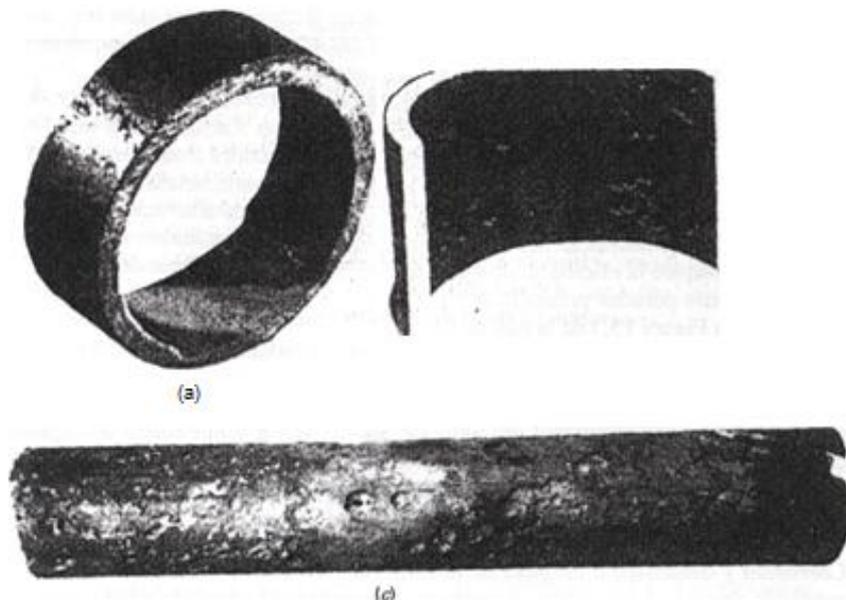
Las pruebas más usadas son las del pH y de alcalinidad del agua.

1.5.2.1.2 Corrosión por oxígeno

El oxígeno produce la corrosión del metal de la caldera por dos vías:

1. La presencia de oxígeno libre en el agua de caldera produce un ataque de picado sobre el metal de la caldera, como se ve en las Figuras 1.7, si es un ataque en una zona localizada. El oxígeno también se une con el metal de la caldera de modo general para producir óxido de hierro.

El oxígeno libre puede producirse a medida que la temperatura de caldera aumenta y el oxígeno es forzado a salir de la solución. El oxígeno, después, se agrega en forma de burbuja de gas que asciende a la superficie calefactora de la caldera para comenzar la reacción química con el hierro.



Grafica 1.7 Tipos de ataques del metal por las impurezas del agua a) Ataque ácido carbónico en caldera de tubos de agua. B) Ataque por picado del oxígeno en una caldera de tubos de agua. C) Ataque por picado en la superficie exterior de los tubos de una caldera piro-tubular.[5]



1.5.2.2 PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN.

La prevención de la corrosión acida depende de mantener la concentración hidrógeno lo más baja posible dentro de ciertos límites. Estos límites han sido establecidos a partir de la experiencia, de modo que se puede prevenir y evitar la corrosión acida manteniendo valores del pH por debajo de 9,6, con el rango normal de trabajo entre un pH 10 y 10,5.

Como el agua neutra tiene un pH de 7, es necesario añadir compuestos que contengan bases o soluciones alcalinas para mantener el pH en el rango deseado mediante dosificaciones calculadas.

El consejo del especialista en tratamientos de agua debe seguirse, así como los métodos para llevar a cabo las pruebas de acidez y alcalinidad mediante las instrucciones dadas por los suministradores de productos químicos. Por ejemplo, hay instrucciones para la alcalinidad que se aplican si la solución indicadora es fenoftaleína o si el indicador es naranja de metilo.

1.5.2.2.1 Corrosión y tratamiento después de la caldera.

El *retorno de condensados* es un medio de ahorrar combustible; sin embargo, el condensado también produce problemas en el agua. El sistema de retorno de condensado puede tener productos corrosivos de la tubería de vapor y condensado, que pueden formar depósitos altamente aislantes en las superficies de caldera. Debe utilizarse un control incrementado de la corrosión en la línea de vapor y de retorno para limitar este lodo. Los atacantes más comunes de los sistemas de condensado son el oxígeno y el dióxido de carbono disueltos que encuentran su camino en el sistema de vapor.

El sistema de retorno de condensado es un punto muy clarificador para muestreo y monitorización del rendimiento del tratamiento total del agua de caldera.

La cantidad de contaminantes hallados y su naturaleza señalan las disfunciones y sugieren las acciones correctoras en el resto del sistema. Los niveles previsibles de contaminantes dependen de la naturaleza del elemento problemático, diseño de caldera y presiones de trabajo. El oxígeno disuelto y el dióxido de carbono, por ejemplo, pueden ser directa o indirectamente responsables de muchos fallos del sistema y se detectan a menudo en el condensado.

El dióxido de carbono en los sistemas de retorno de condensado ha recibido mayor atención porque puede formar ácido carbónico y atacar al acero metálico de un sistema de calderas. El dióxido de carbono proviene de la rotura de la alcalinidad de carbonatos y bicarbonatos del agua de alimentación.

El control y monitorización de dureza, conductividad y contaminantes específicos (tales como el hierro y el cobre) también permitirán una máxima reutilización del condensado. [5]

1.5.2.3 CONTROL DE LA CORROSIÓN.

Los especialistas en el control de calidad de agua sugieren controlar los siguientes parámetros:

1.5.2.3.1 pH:

Es la medida de acidez relativa o alcalina del agua. El pH se lo puede medir con un pH metro.

Escala de: 0 a 14, considerándose un pH 7 como neutro.

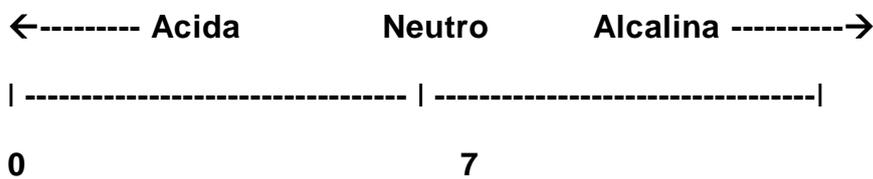


Figura 1.8 Esquema del pH.

- Una solución con un pH inferior a 7 tendrá una tendencia a formar corrosión. A un pH de 4.2 llega a tal concentración de iones hidrógeno que se dice que hay “acidez mineral libre”, la cual puede solubilizar fácilmente todo el hierro del equipo.

-La corrosión se puede controlar mediante la medición del pH del agua que en el caso de Cartopel está en el rango de 10,5 a 11,5, límites recomendados por un especialista en el control y tratamiento de agua; para controlar el pH se lo hace añadiendo NaOH cuando hay un nivel muy bajo de pH o purgando la caldera cuando sobrepasa los límites recomendado.

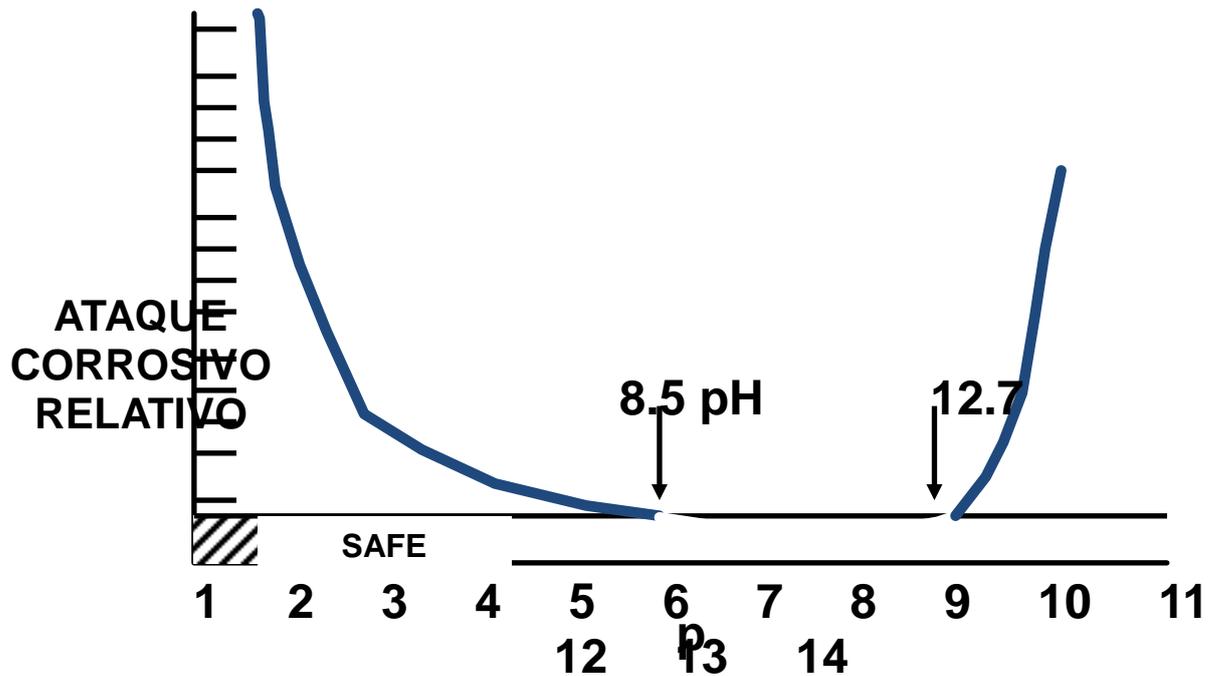


Figura 1.9 Límites del pH para una caldera. (material Cartopel)

1.5.2.3.2 OXÍGENO DISUELTO:

Análisis de laboratorio: Espectrofotometría (DR 2000).

Unidad: ppm O₂.

Causa:

A temperatura ambiente, el oxígeno no contribuye significativamente a la corrosividad del agua. Sin embargo, a altas temperaturas como en un sistema de generación de vapor, el oxígeno si es altamente corrosivo.

La remoción del oxígeno disuelto en el agua de alimentación a la caldera es muy importante:

- medios mecánicos (desaireador).
- medios químicos (secuestrantes de oxígeno)

Incrementando temperatura y a pH bajo intensifica corrosión por oxígeno (pitting).

1.5.2.3.3 CONDUCTIVIDAD Y STD

Conductividad es una medida de capacidad para conducir una corriente eléctrica.

Lectura: conductímetro

Unidad: umhos/cm.



Límites: menor a 2500

Cuanto mayor es el contenido de minerales del agua, mayor será su conductividad, por lo tanto más libremente podrá fluir la corriente eléctrica a través del agua y más rápida es la velocidad de corrosión si las demás condiciones la favorecen.

La conductividad se utiliza como un método de control de purga ya que da una idea aproximada de la totalidad de sólidos disueltos.

1.5.3 FRAGILIZACIÓN CAÚSTICA

En el año de 1866 Graham descubrió que el hidrógeno penetraba el hierro calentándolo al rojo y que una parte del hidrógeno lo retenía el metal después de haberse enfriado.

Es la falla o agrietamiento que puede ocurrir en el acero de las calderas, debido a una gran variedad de causas:

Por lo general es el resultado de esfuerzos mecánicos o combinación de esfuerzos mecánicos y corrosión, puede ser también debido a esfuerzos mecánicos en presencia de sosa cáustica en concentraciones altas.

Es posible que ocurra fragilización cáustica del acero de las calderas cuando se emplea agua de un tipo fragilizante y cuando existe espacios estrechos adyacentes a las áreas sumamente tensionadas en las que puede haber sosa cáustica.[4]

El agrietamiento inter-cristalino y más comúnmente conocido como fragilización cáustica, ocurre usualmente por debajo de la línea de agua y parece iniciarse sobre la superficie seca de las uniones, ocurre también en costuras o grietas en las cuales el agua de la caldera puede fugarse y producir altas concentraciones. Se requiere generalmente de cuatro condiciones simultáneas para que se desarrolle una falla de esta especie:

[4]. Genaro F. Benitez A. & Manuel E. Contreras V. "Análisis matemático para el control de concentración de sólidos totales disueltos en el agua de un caldero utilizando agua de los ríos de Cuenca"; Monografía.1986.

- El agua debe tener sustancias particularmente hidróxidos, capaces de producir falla inter-granular; cuando concentradas se encuentran en



contacto con acero sujeto a esfuerzos. Se encuentra presente óxido de hierro negro o sulfuro en las áreas fragilizadas.

- Debe haber una junta por el cual el agua pueda fugarse.
- El agua de la caldera debe concentrarse dentro de la junta o intersticio
- El acero debe estar sobre esforzado localmente donde está expuesta a la concentración de los componentes químicos.

1.5.3.1 Efectos de la fragilización cáustica.

Generalmente las zonas más afectadas son: las juntas de domos remachados, asientos de tubos soldadas, orificios de remaches, en algún intersticio por el cual o a través del cual el agua de la caldera pueda fugarse.

Cuando el metal ya ha sido fragilizado, no hay forma de detenerlo, muchas veces es necesario cambiar tuberías y algunos accesorios, y cuando ha avanzado demasiado la fragilización es preferible cambiar toda la unidad, antes de tratar de componerlo, por lo cuanto los costos son muy elevados.

En el pasado muchas calderas han sido diseñadas poniendo especial atención al estrellamiento inter cristalino del acero de las mismas. Tales fallas se conocen comúnmente como “Estrellamiento por fragilización cáustica”, término que se usa para distinguir el fenómeno del estrellamiento debido a la corrosión y a la fatiga y de otros tipos de fallas.

El desarrollo de grietas en el acero de los tubos y domos de calderas, es evidente de una condición peligrosa cuya causa y corrección deben ser determinadas inmediatamente con una investigación completa.

La substitución de domos soldados por los domos remachados, los métodos mejorados para construir los orificios para los tubos y el perfeccionamiento de las técnicas de laminado de los tubos, han disminuido notablemente este tipo de falla.

Actualmente está bien comprobado el método químico del ataque sobre el acero, debido a la extensa investigación lograda desde hace años atrás. Este acontecimiento ha aportado con medios positivos para inhibir el ataque mediante un acondicionamiento químico más efectivo del agua para alimentación y del agua concentrada de las calderas.[4]

1.5.3.2 Prevención de la fragilización cáustica.

La investigación y la experiencia han demostrado que manteniendo en el agua de la caldera ciertas relaciones de sales disueltas o ciertas sustancias llamadas inhibidores, se puede controlar este tipo de falla. Se ha sugerido y usado los



métodos siguientes para el control de la fragilización bajo gran variedad de condiciones de operación:

- Mantener ciertas concentraciones o relaciones de concentraciones de sustancias específicas en el agua de la caldera.
- El uso de un tratamiento de agua que no produzca hidróxido libre en el agua de la caldera. Estos métodos deben ser establecidos y supervisados.

No existe un control químico fijo o prescrito para toda una serie de condiciones de operación, que pueden darse en las calderas. Se han desarrollado varios sistemas de control químico, incluyendo el mantener ciertas cantidades de sulfatos, nitratos, taninos o ligninios quebracho, etc. En relación con el contenido alcalino del agua de la caldera o el control de la relación de alcalinidad y fosfatos en el agua de la caldera, de tal manera que no exista presencia de sosa caustica libre.

Se recomienda mantener ciertas relaciones del sulfato de sodio o alcalinidad total, expresados en términos de carbonato de sodio. La presencia de sulfato de sodio en el agua de calderas, tiende a retardar el efecto fragilizante del hidróxido de sodio. La atención tenida a estas relaciones, se ha visto remunerada con una notable reducción en el número de casos de agrietamiento en juntas remachadas de calderas estacionarias.

La presencia de fosfatos, cromatos, acetatos, tananos, etc. también inhibirán la acción fragilizante del hidróxido de sodio si estas sales se encuentran presentes en el agua de caldera en cantidades apropiadas. El fosfato propiamente dicho, no parece actuar como inhibidor, sin embargo es posible mantener la alcalinidad en el agua de la caldera por medio de fosfatos hasta el nivel correspondiente a la presencia de fosfatos trisódicos sin haber sosa cáustica libre. Esto ha demostrado por la experiencia práctica en calderas, ser un método efectivo para prevenir el agrietamiento en juntas remachadas.

El extracto de quebracho es estable y, ha sido efectivo en calderas operando hasta 49 kgs. Se requiere una relación de quebracho o alcalinidad total en el agua de las calderas de no menos 0,4 a 1 para obtener resultados satisfactorios.[4]

Se ha encontrado que el nitrato de sodio es estable hasta 28 kgs. Ha probado ser un inhibidor efectivo y la relación de nitrato de sodio a alcalinidad total no es menor de 0,4 a 1.



1.5.3.3 CONTROL DE LA FRAGILIZACIÓN CÁUSTICA.

Los especialistas en el control de calidad de agua sugieren controlar los siguientes parámetros:

1.5.3.3.1 ALCALINIDAD

Análisis: Titulación
 Unidad: ppm como CaCO₃.
 Límites 20 a 500 (Alcalinidad OH)

Corresponde a la presencia de carbonatos, bicarbonatos y/o hidróxidos, expresados como carbonato de calcio; existen tres tipos de alcalinidad.

- Alcalinidad "T" o total: neutraliza ácido hasta un pH de 4,3
- Alcalinidad "P" o a la fenolftaleína; neutraliza ácido hasta un pH de 8,2

En la siguiente tabla brindada por un especialista en control de calidad de agua, se encuentra la relación entre los diferentes tipos de alcalinidad .

Resultado de la Titulación	Alcalinidad OH ⁻	Alcalinidad CO ₃ ⁻	Alcalinidad CO ₃ H ⁻
P = 0	0	0	T
P < 1/2T	0	2P	T - 2P
P = 1/2T	0	2P	0
P > 1/2T	2P - T	2(T - P)	0
P = T	T	0	0

Tabla 1.6. Relación entre los diferentes tipos de Alcalinidad. Datos Cartopel.

1.5.4 ARRASTRE DE SÓLIDOS.

La producción de vapor limpio ha llamado la atención de los ingenieros en el campo de las calderas, tanto estacionarias como locomóviles, pero siempre ha sido un problema conforme a la eficiencia del equipo generador de vapor y se ha aumentado mediante el uso de calderas de alta presión, es por esta razón que se ha intensificado el interés sobre el mecanismo de la contaminación del vapor, su medición y corrección.



Todas las impurezas sólidas y líquidas llevadas fuera de la caldera por el vapor generado son consideradas como contaminaciones y conocidas comúnmente como “arrastre”. Las impurezas sólidas comprenden los sólidos suspendidos y disueltos que lleva esta agua y las sustancias normalmente sólidas transportadas en su fase de vapor. La impureza líquida es el agua de la caldera no evaporada.

El arrastre no puede ser totalmente eliminado debido a que el vapor lleva algo de rocío, que hace que sea necesario el uso de mamparas en el domo, con lo que se limitan normalmente la forma de arrastre. Un arrastre severo por lo general es resultado de la formación de espuma ó por acarreo.

La cantidad permisible de arrastre en el vapor, depende del uso a que esté destinado y del equipo a través del cual debe pasar el vapor.

Arrastre (priming) o “vómito” es el término usualmente reservado para la proyección de grandes volúmenes de líquido en el domo de vapor, puede ocurrir por un cambio súbito en la demanda de vapor o por fluctuaciones en el nivel del domo; puede también ser debido a la ebullición extremadamente rápida, casi explosiva del agua en las superficies de calentamiento.

El acarreo priming, causa que grandes volúmenes de agua pasen con el vapor, lo cual origina una caída súbita de la temperatura del vapor, golpe de ariete en las líneas de vapor y posibles daños en los álabes de la turbina.[4]

1.5.4.1 Prevención del arrastre se sólidos.

El espumeo es el resultado de la concentración de impurezas en el agua de las calderas, el grado de espumeo es sensible a muchas condiciones de operación. El espumeo se puede eliminar o reducir con las siguientes condiciones:

- Reducción de la concentración de sólidos en el agua de la caldera.
- Eliminación de materias significables en el agua de la caldera.
- Reducción de la evaporación o de la frecuencia de los cambios de operación.

1.5.4.2 Control del arrastre de sólidos.

Los especialistas en el control de calidad de agua sugieren controlar los siguientes parámetros:

1.5.4.2.1 Hierro.

Análisis: Espectrofotometría (DR 2000).



Unidad: ppm.

El hierro afecta la calidad de agua de alimentación de las calderas, proveniente de la contaminación de la corrosión producida en las tuberías de condensado, alimentación y por su naturaleza misma de formación.

Puede llegar a la caldera, formar incrustaciones y depósitos capaces de reducir la eficiencia y hasta de causar roturas de tubos en una caldera.

1.6 CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN MANTENERSE EN EL AGUA DE UN GENERADOR DE VAPOR.

Con respecto al arrastre de agua y la espuma, podemos decir que depende de la concentración de los sólidos disueltos en el agua de la caldera.

La industria de americana de calderos limita como concentración máxima de sólidos totales permisibles, de acuerdo a la presión a la que se trabaje de la forma siguiente.

Presión Kg/cm ²		Sólidos totales ppm	Alcalinidad total ppm	Sólidos suspendidos
0	- 21,09	3500	700	300
21,16	- 31,64	3000	600	250
31,7	- 42,18	2500	500	150
42,25	- 52,73	2000	400	100
52,79	- 63,27	1500	300	60
63,34	- 70,3	1250	250	40
70,37	- 105,45	1000	200	20
105,52	- 140,6	750	150	10
140,67	- o mayor	500	100	5

Tabla 1.7 Límites de parámetros de calderas.

De la tabla anterior se deduce que, cuando la presión de trabajo de la caldera es mayor, la concentración de sólidos permisible va ha ser menor. Esto también es aplicable a la sílice.

En las calderas de alta presión, debe mantenerse el mínimo de agua de repuesto, y la concentración de la sílice debe mantenerse debajo de 5 ppm.



AGUA DE CALDERA							AGUA DE ALIMENTACIÓN					
Presión de Caldera			Solidos totales ppm	Alcalinidad total, ppm como CaCo3	Sílice ppm como SiO2			Dureza ppm CaCO3		Hierro ppm como Fe	Cobre ppm como Cu	Oxígeno ppm como O2
min		max			max		min	min	max			
0	-	300	3500	700	75	-	50	0	1	0,1	0,05	0,007
301	-	450	3000	600	50	-	40	0	1	0,1	0,05	0,007
451	-	600	2500	500	45	-	35	0	1	0,1	0,05	0,007
601	-	750	2000	400	35	-	25	0	1	0,05	0,03	0,007
751	-	900	1500	300	20	-	8	0	1	0,05	0,03	0,007
901	-	1000	1250	250	10	-	5	0	1	0,05	0,03	0,007
1001	-	1500	1000	200	5	-	2	0	0	0,01	0,005	0,007
1501	-	2000	750	150	3	-	0,8	0	0	0,01	0,005	0,007
2001	-	2500	500	100	0,4	-	0,2	0	0	0,01	0,005	0,007
2501	-	3000	500	100	0,2	-	0,1	0	0	0,01	0,005	0,007

Tabla 1.8 Límites de impurezas recomendados por un comité investigador de ASME, para el agua de alimentación y el agua de calderas, para calderas adiferentes presiones de trabajo.[5]

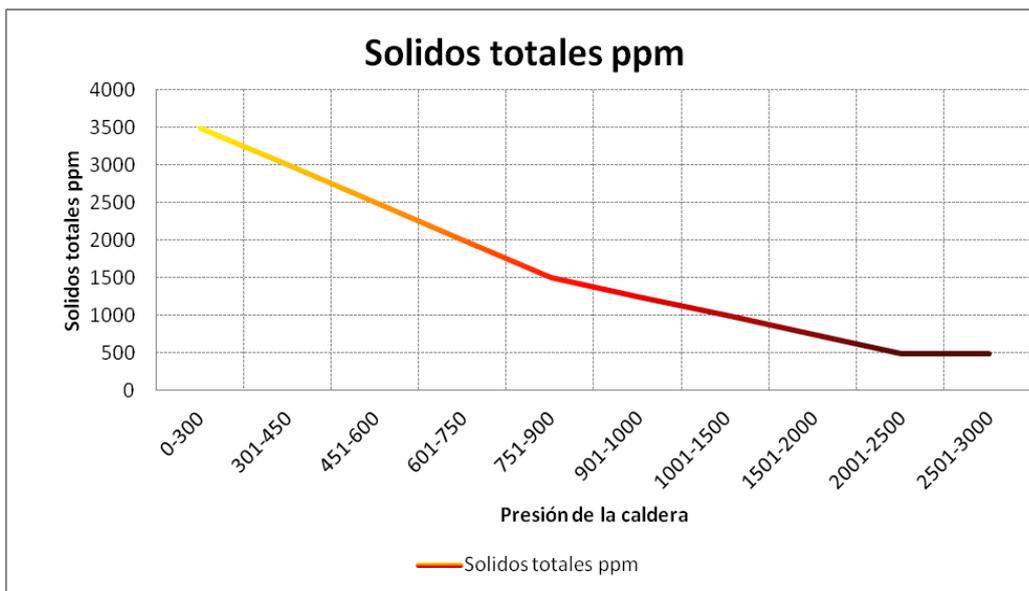


Figura 1.10 Límite Sólidos totales ppm

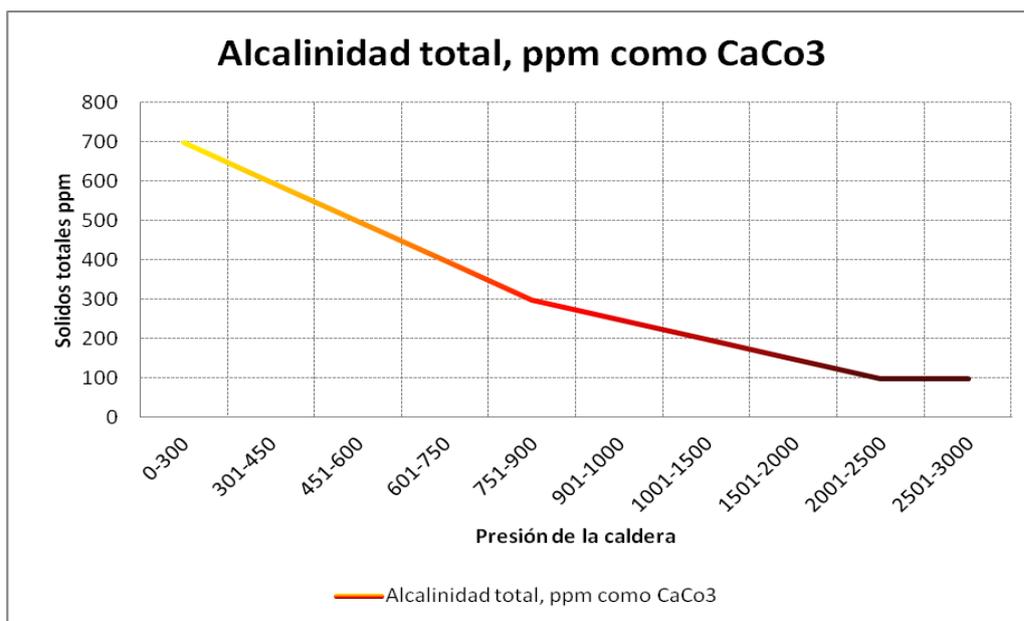


Figura 1.11 Rango Alcalinidad total, ppm como CaCo3

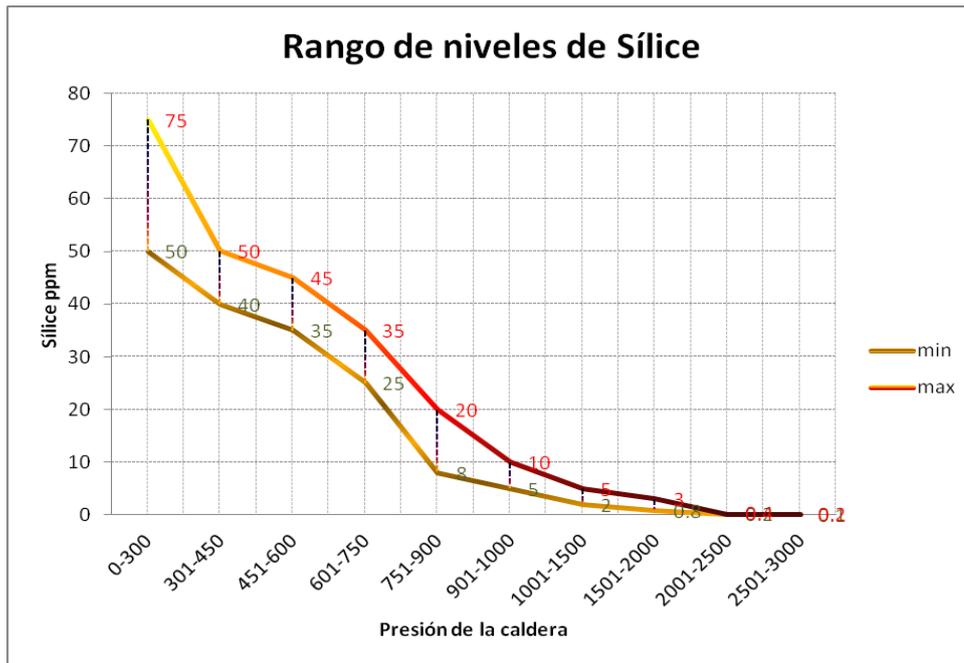


Figura 1.12 Rango de niveles de Sílice

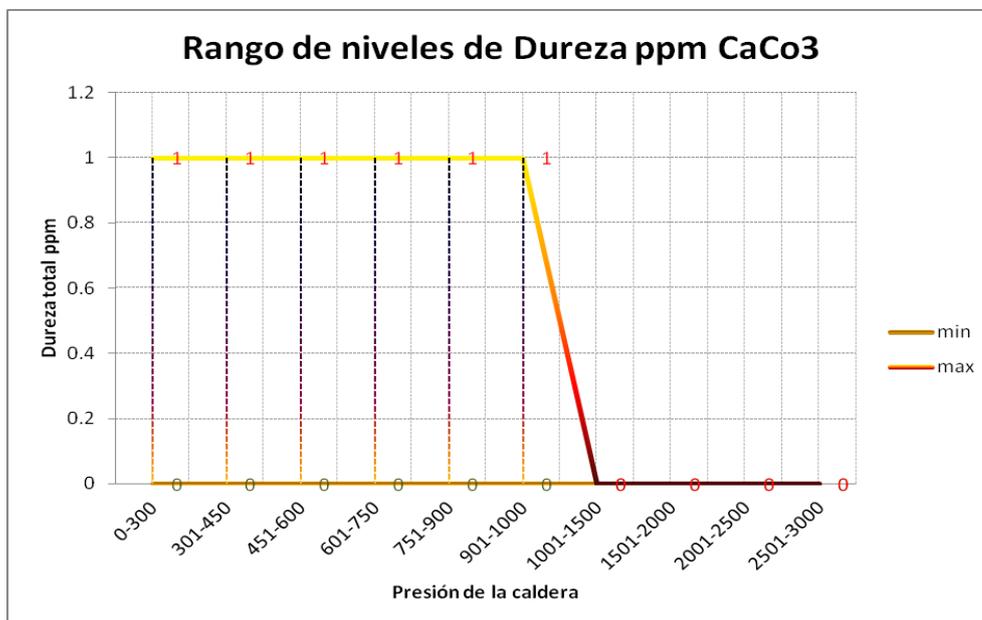


Figura 1.13 Rango de niveles de Dureza ppm CaCo3

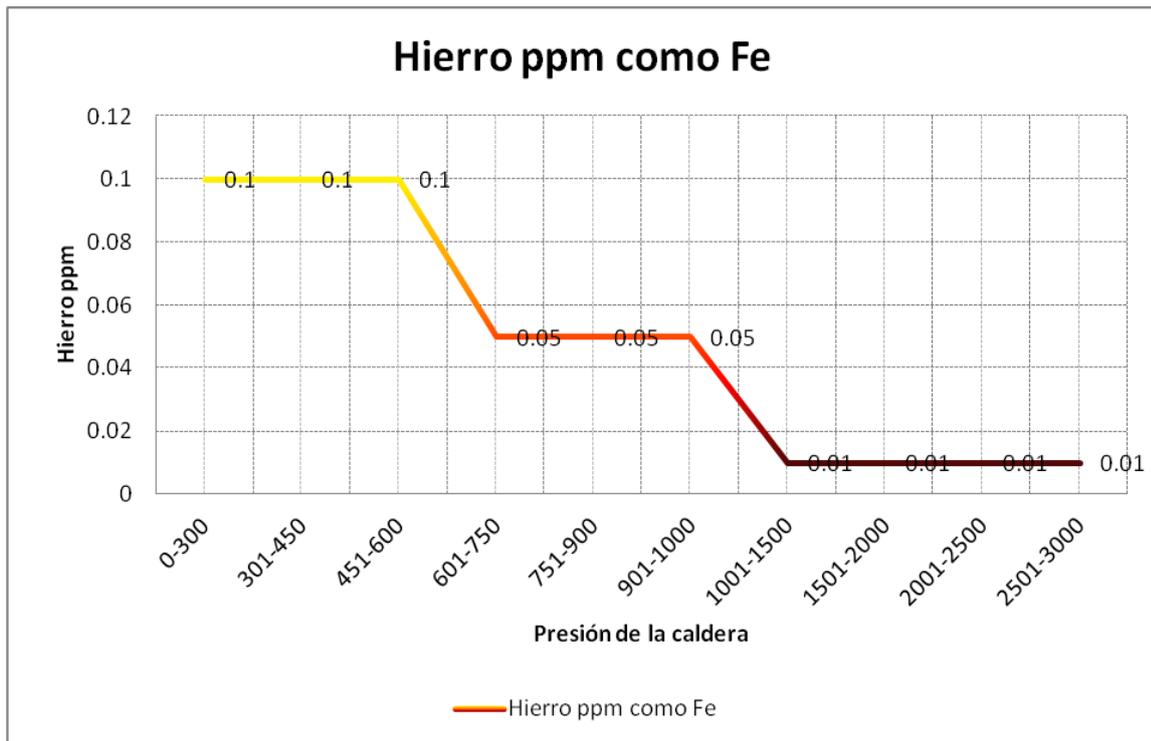


Figura 1.14 Rango Hierro ppm como Fe

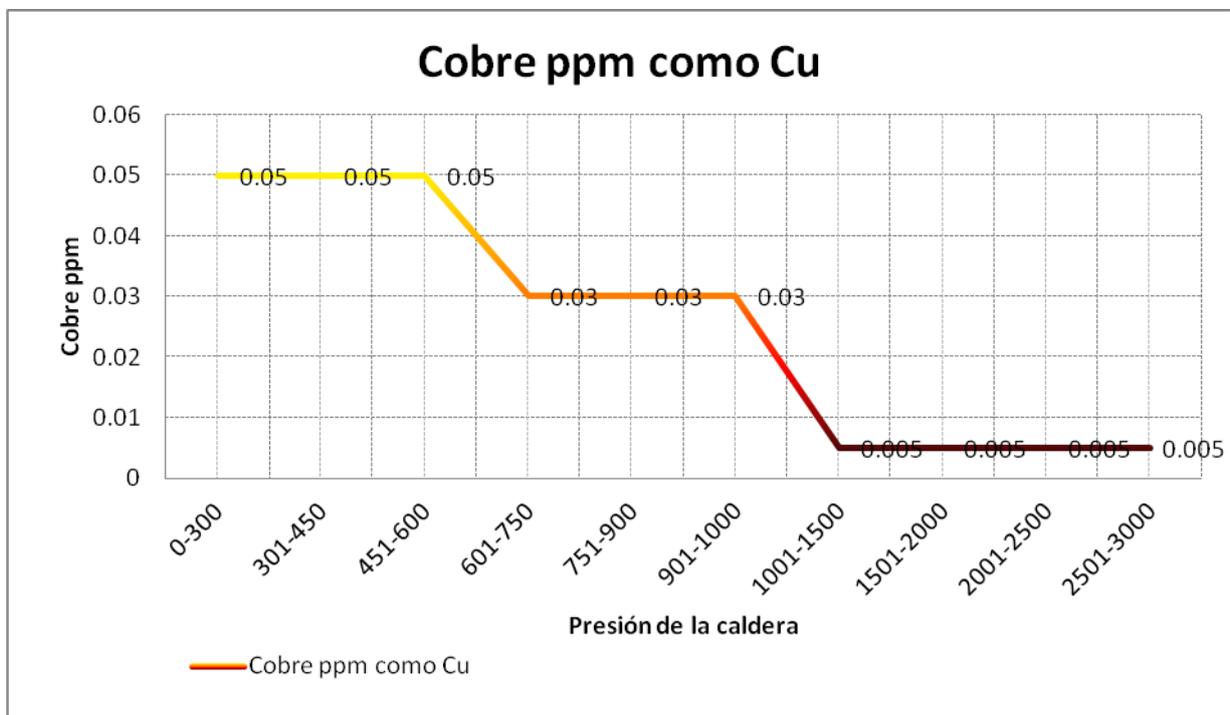


Figura 1.15 Rango Cobre ppm



La materia orgánica del agua de alimentación debería ser cero y el pH, en el rango de 8,0 a 9,53.

Referencias y notas de límites de parámetros tabulados:

- *American Boiler Manufacturera Assoc. Manual de 1958.*
Por encima de 600 psig, el nivel de sílice seleccionado para producir vapor con 0,02 ppm de SjO_2 .
- *Publicaciones Babcock&Wilcox: (a) Tratamiento de agua para calderas industriales, BR-884, 8-68; y (til J. A. Lux, «Control de calidad del agua de calderas en la planta de vapor de alta presión», 9/62.*
- *J. A. Lux, 3(b), recomienda niveles tan bajos como 15 ppm de sólidos totales disueltos por encima de 2.000 psig.*

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS-CARTOPEL.

2.1 INTRODUCCIÓN.

La empresa CARTOPEL ha efectuado la recuperación y puesta en operación de las instalaciones de la antigua fábrica de papel ADAMAS ANDINA, la misma que implemento la construcción de una gran parte de las obras civiles. Entre las instalaciones existentes se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria, la que fue construida en el año 1978. Esta planta está constituida por procesos de tratamiento primario y de disposición de lodos. Tanto los procesos de fabricación de papel, como los de tratamiento de las aguas residuales se hallan completos y en plena capacidad de operación.

2.2 DESCRIPCIÓN DE ESPECIFICACIONES DE CALDERAS EXISTENTES.

La empresa Cartopel dispone de las siguientes calderas:

Código	Nombre/Marca	Tipo	Potencia BHP	Tq. Alimentación	Unidad desaeradora
70-04	FONTANA	Acuotubular	110	TQ. PULMÓN	DESAERADOR
70-03	PELUCCI	Pirotubular	500	TQ. PRINCIPAL	MAKE UP
70-05	BABCOCK WILCOX	Acuotubular	1100	TQ. PULMÓN	MAKE UP
70-06	CLEAVER BROOKS 1400	Pirotubular	1400	TQ. PULMÓN	MAKE UP
70-07	CLEAVER BROOKS 800	Pirotubular	800	TQ. PULMÓN	DESAERADOR

Tabla 2.1 Descripción de especificaciones de las calderas existentes en la compañía Cartopel.

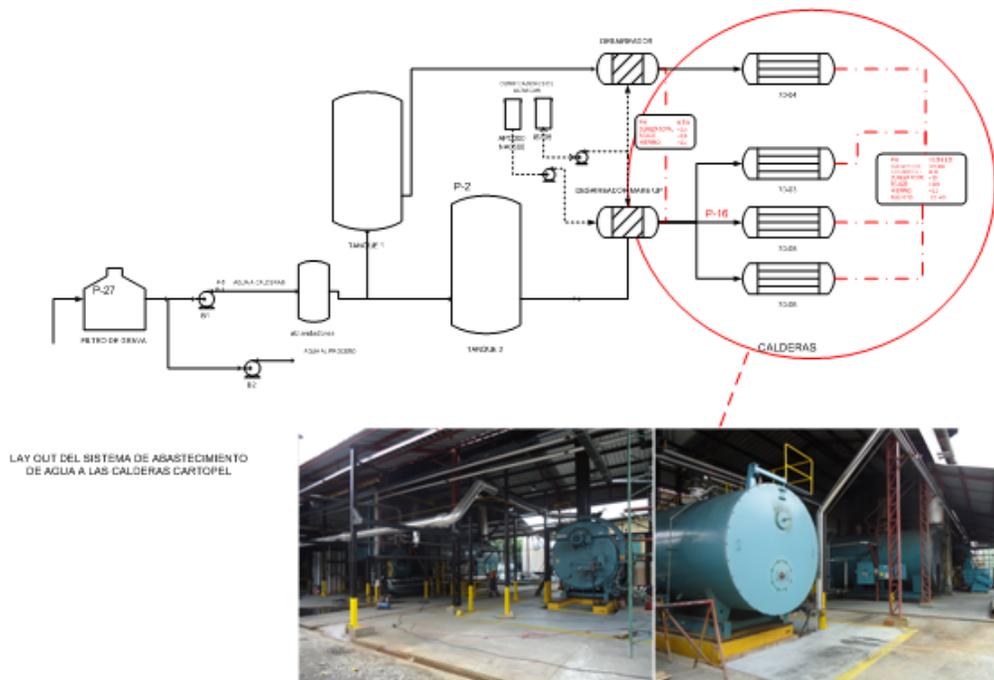


Figura 2.1 Diagrama de distribución de las calderas Cartopel.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LA EMPRESA CARTOPEL.

La empresa Cartopel emplea dos etapas en el tratamiento de agua.

Tratamiento Primario: Consta de las operaciones de captación, floculación, sedimentación, filtración y ablandamiento.

Tratamiento Secundario Consta de la dosificación de químicos en los calderos para controlar los parámetros presentes en el agua de alimentación.

La empresa dispone de un sistema de tratamiento de agua primarios que adapta el agua siguiendo las especificaciones en cada etapa que se describen a continuación:

2.3.1 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CAPTACIÓN DE AGUA.

CAPTACIÓN EL RIO MACHANGARA

La captación se efectúa mediante un azud ubicado en el río Machángara, aguas arriba del Parque Industrial de la ciudad de Cuenca. La captación



consiste en una toma lateral con rejilla y compuerta de regulación del caudal de admisión a un canal de conducción.

Se captan aproximadamente un caudal de 900 m³/h, el agua antes de ingresar a un tanque de reserva pasa por un desarenadero.

El agua captada ingresa a un tanque rectangular con una capacidad de 600m³. El tanque se encuentra normalmente lleno y tiene un vertedero de rebose a través del cual se alivia el caudal no utilizado en el proceso de fabricación.

La recepción de agua que se hace en el Río Machángara que posee las siguientes propiedades promedios descritos en la tabla 2.2:

PARÁMETRO	Promedio Semana	Promedio Semana	Promedio Semana	Promedio Semana
ALCALINIDAD	36,7	39,5	31	42
CALCIO	22	22	15,4	21
CLORURO	4,5	4,7	5,3	4,1
DUREZA TOTAL	57	57,8	58,7	62,2
OXÍGENO DISUELTO	7,92	7,54	7,65	8
PH	7,9	7,7	8,1	8,1
SÓLIDO TOTAL	58	110	122	97
SÓLIDOS FIJOS	40	55	37	44
SÓLIDOS VOLÁTILES	18	55	85	53
TEMPERATURA	11	13	13,8	14
TURBIEDAD	1,9	2,3	2,3	3,7

Tabla 2.2 Propiedades promedio del agua de captación del río Machángara.[]

2.3.2 SISTEMA DE FLOCULACIÓN.

2.3.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La coagulación/floculación es un proceso químico unitario empleado en el tratamiento de aguas que persigue alterar el estado de los sólidos filtrables y en suspensión para facilitar su separación mediante sedimentación. Una suspensión coloidal es un conjunto de partículas de pequeña dimensión (del orden de mili- y decena de micras) que soportan cargas eléctricas del mismo signo repartidas en su superficie. Estas partículas en suspensión forman parte de las impurezas del agua causantes de turbidez y color (por ejemplo arenas, arcillas, cienos, partículas orgánicas...) y se caracterizan por su gran estabilidad ya que las repulsiones electrostáticas entre los coloides impiden su agregación en partículas mayores sedimentables. La coagulación en una



operación consistente en neutralizar las cargas eléctricas de una suspensión coloidal. De esta forma dejan de actuar las fuerzas de repulsión y las partículas coloidales comienzan a agregarse. Los productos químicos que suelen utilizarse para favorecer la coagulación de las partículas coloidales suelen ser sales de hierro y aluminio ($[(Al_2(SO_4)_3]$, $[(Fe_2(SO_4)_3]$, $[FeCl_3]$) La floculación es una operación basada en la agregación de las partículas coloidales previamente desestabilizadas en la etapa de coagulación, formando partículas de mayor tamaño (flóculos) que permitan su sedimentación. La formación de estos flóculos se favorece con la adición de polielectrolitos que se caracterizan por moléculas orgánicas poliméricas que son ionizables. Estos compuestos forman puentes entre las partículas, dando lugar a fenómeno de floculación con partículas de mayor tamaño que resultan sedimentables.[8]

2.3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE FLOCULACIÓN CARTOPEL.

El agua que sale de la unidad desarenadera viaja 230 m. hasta la unidad de floculación que está conformada por un reservorio en el cual ingresa el agua con propiedades de turbidez variables dependiendo del estado en que se encuentre el río; esto no se puede controlar puesto que los factores de contaminación de río provienen del clima, caudal del agua, época del año, contaminación de otras fuentes, etc.

Entonces para proceder a la floculación lo que se hace es determinar la turbidez del agua y añadirle sulfato de aluminio $[(Fe_2(SO_4)_3]$, y el polielectrolito INDUFLOCK.

El control y preparación de los químicos floculantes se las hace en la Planta de Aguas Cartopel ubicada a 150 m. de los tanques dosificadores por lo que el analista de aguas debe estar siempre pendiente de los niveles de químicos que se preparan en este departamento que luego se conducirán mediante tuberías a la piscina.

La mezcla de sulfato de aluminio con el agua se realiza en un tanque metálico debidamente protegido, hasta conseguir una solución de concentración conocida. Este tanque está provisto de una bomba de recirculación a fin de conseguir siempre el mismo estado de la solución de sulfato, la misma que mediante bombas dosificadoras es llevada al tanque de pre-floculación.

Los polielectrolitos son disueltos en agua, utilizando un mecanismo de transporte de tornillo sin fin no regulable con una capacidad de 1,1 kg/hora. El polvo es disuelto con agua en un tanque de acero de cinco secciones el cual está provisto de dos agitadores. La solución de polielectrolitos (INDUFLOCK) es bombeada desde un tanque de reposo por medio de una bomba que envía el caudal necesario al tanque de pre-floculación.

La siguiente tabla muestra la dosificación en relación a la turbidez del agua.

DOSIFICACIÓN AFLUENTES							
TURBIDEZ (ftu)	pH Inicio	Sulfato aluminio	de	lts/se g	Indufloc k	lt/se g	pH Final
20-50	6,6	82		227	5	14	6,1
50-100	6,6	92		227	5	20	6,08
100-150	6,6	102		283	8	23	6,05
150-300	6,6	120		255	10	28	6,03
300-600	6,6	130		350	15	42	5,83
600-1000	6,6	140		388	20	56	5,99
				lts/hora	cc	cc	
					10	10	
					seg	seg	

Tabla 2.3 Datos tabulados por consultores en la empresa Cartopel.

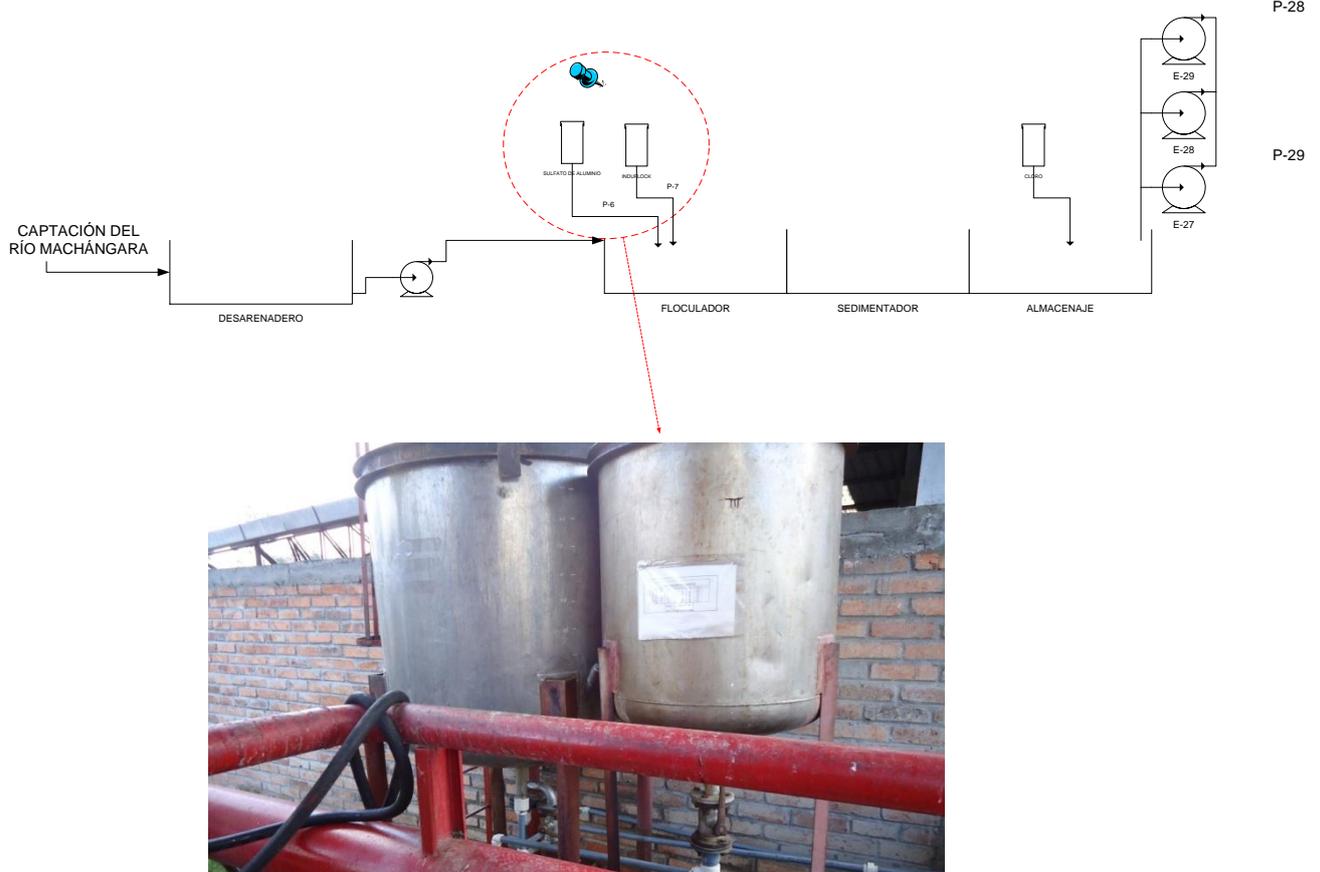


Figura 2.2 Diagrama de distribución de los dosificadores de químicos.



2.3.3 SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN.

2.3.3.1 Conceptos Generales

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la

acción de la gravedad.

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son :

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. constituye la "sedimentación simple".

El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar.

Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación.

Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación.

A continuación detallaremos un cuadro en el que se presenta a título ilustrativo valores de la "velocidad de sedimentación" correspondiente a partículas de peso específico 2,65 kg./dm.³ y a una temperatura del agua de 10° C, teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0,3 m.

D (mm)	Clasificación	Velocidad de Sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0,3 m.
10,0	Grava	1000,00	0,3 seg.
1,0	Grava	100,00	3,0 seg.
0,1	Arena Gruesa	8,00	38 seg.
0,01	Arena Fina	0,154	33 min.
0,001	Bacterias	0,00154	35 horas
0,001	Coloides	0,0000154	230 días
0,0001	Coloides	0,00000154	63 años

De un rápido análisis del cuadro se deduce que en la práctica es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. Lo contrario implicaría diseñar tanques de sedimentación incompatibles con las posibilidades económicas y aún físicas de los proyectos.[9]

2.3.3.2 Descripción del sistema de sedimentación Cartopel.

Después de la dosificación de químicos, las aguas ingresan por gravedad a un floculador-clarificador . El agua pasa a través de tres agitadores mecánicos que producen el proceso de floculación en la cámara lateral de la piscina, los flocks más grandes son depositado por gravedad en el fondo de la recamara de sedimentación de la piscina que pasa por una serie de recamaras hasta llegar a la cámara de sedimentación número 2 que consta de una serie de recamaras de un polímero especial que permite la sedimentación más efectiva de los sólidos presentes en el agua.

Posteriormente se almacena el agua clarificada en un depósito de mayor capacidad para su posterior bombeo a la siguiente etapa del proceso de tratamiento de agua.

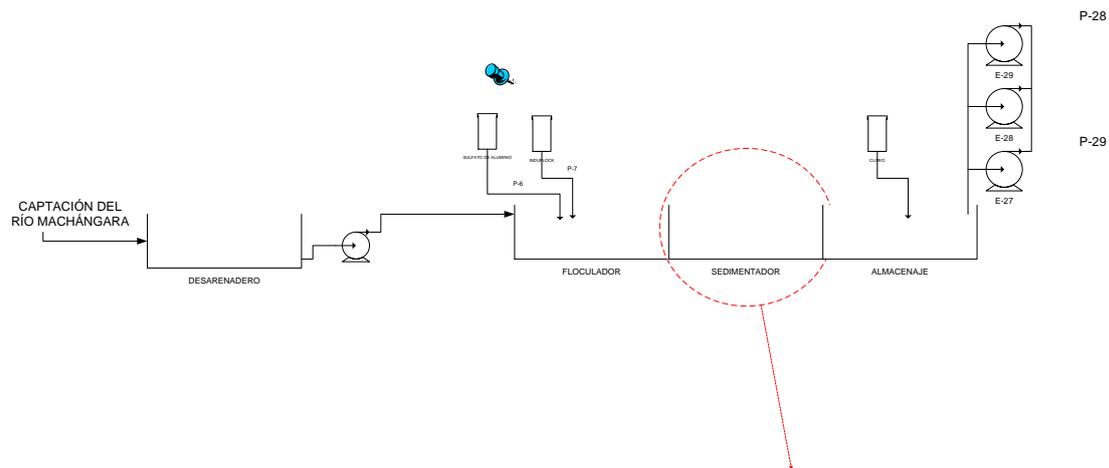




Figura 2.3 *Diagrama de distribución del sistema de sedimentación.*

2.3.4 UNIDAD DE DOSIFICACIÓN DE CLORO DEL AGUA.

La unidad de dosificación de cloro en el agua almacenada en la piscina cumple la función de evitar la formación de algas en las paredes de este depósito por lo cual se suministra cloro a partir de una máquina que separa los iones de cloro a partir del cloruro de sodio mediante electricidad cuyo funcionamiento está protegido por los derechos del autor

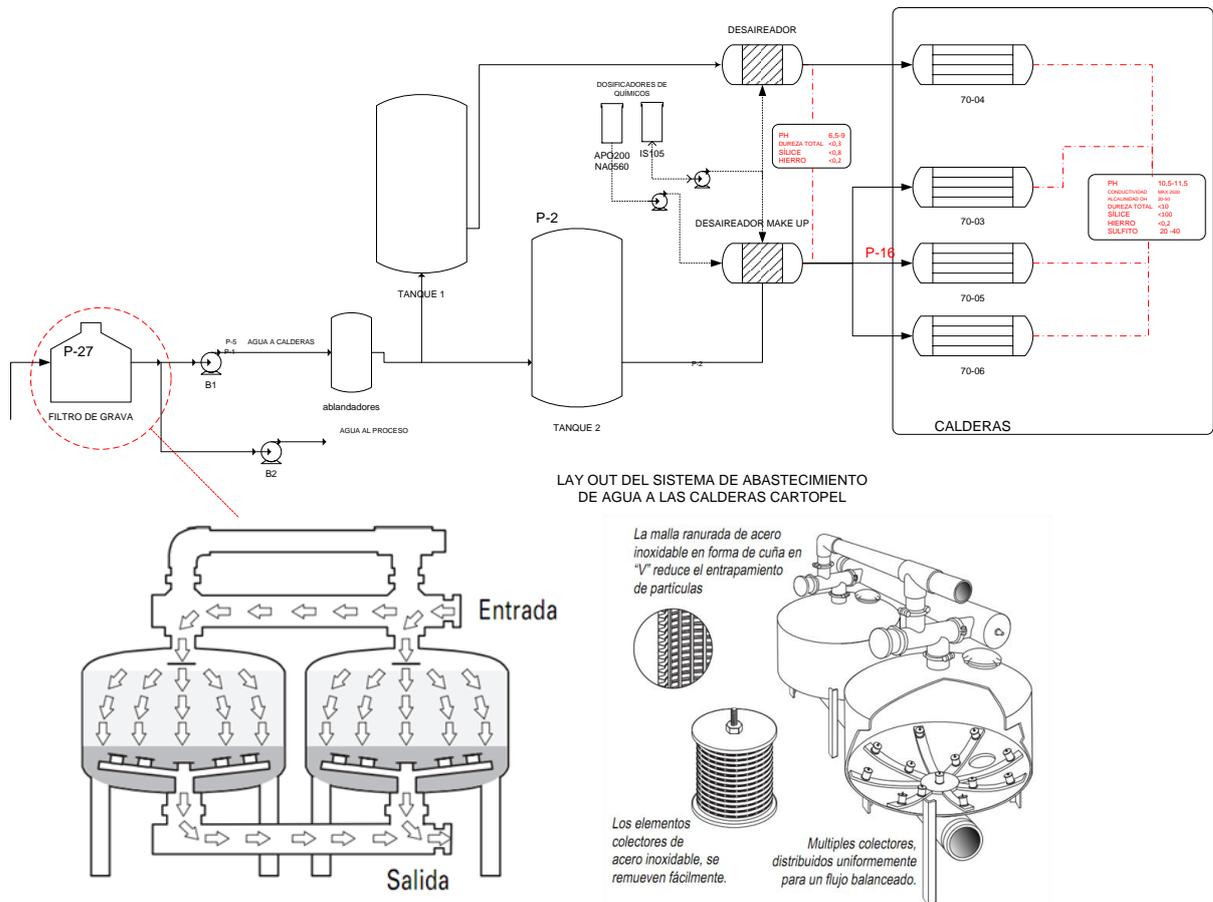
2.3.5 UNIDAD DE FILTRACIÓN DEL AGUA.

2.3.5.1 Principio de funcionamiento.

El principio de la filtración usando una cama de arena filtradora es muy simple. El agua de la fuente de riego es presurizada e introducida en la parte superior de la cama de arena de los tanques. Un plato difusor en la garganta superior del tanque sirve para reducir la velocidad del agua y distribuir uniformemente el agua a través de la parte superior de la cama filtrante. La cama de arena es una capa de arena silica triturada de tamaño graduado de aproximadamente 16" de profundidad. Los contaminantes en el agua son capturados en la cama de arena y el agua filtrada pasa dentro del colector de descarga, ubicado en el fondo de los tanques.

Los filtros de arena son efectivos para filtrar tanto contaminantes orgánicos, como inorgánicos. El tamaño mayor y la naturaleza tridimensional de la cama de arena proveen más área de filtrado y tienen una mayor capacidad de retención que muchos otros tipos de filtros. Determinar la capacidad del filtro y entender la función de retro lavado (limpieza) de su sistema están entre otros los aspectos más importantes de una filtración exitosa.

La clave para una filtración superior con filtros de grava y arena es la efectiva remoción de los contaminantes capturados por la cama de arena, comúnmente mencionado como “retro-lavado”. En el fondo de cada Filtro de Arena Flow-Guard hay un sistema de colección de pasos de agua altamente elaborado y diseñados para cumplir dos funciones. Primero no debe permitir que ninguna partícula de arena pase a través del filtro y se introduzca dentro del sistema de riego. Segundo, durante la operación de retrolavado debe permitir que el agua del lavado sea distribuida en forma uniforme en toda la cama de arena, sin dejar espacios ni puntos muertos. Esto asegura que la arena sea levantada y lavada uniformemente para liberarla de contaminantes de una forma eficiente.[10]





2.3.6 UNIDAD DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA.

Ablandamiento del agua.

Los métodos de ablandamiento de agua están siendo mejorados continuamente mediante el estudio químico de agua. Los operadores pueden enfrentarse a los siguientes tipos de equipos de ablandamiento de aguas.

Intercambio iónico.

El intercambio iónico es el término aplicado al intercambio de calcio y magnesio por sodio, ya que los minerales, al ser iónicos en disolución natural, presentan carga eléctrica iónica. Los iones se clasifican además como de carga eléctrica positiva o cationes y de carga eléctrica negativa o aniones. Los cationes positivos en la forma iónica del calcio, magnesio, hierro y manganeso producen la dureza del agua. Utilizando el intercambio iónico, esos iones de dureza se eliminan para ablandarse el agua y así reducir la incrustación en las calderas.

El método de intercambio iónico utilizando intercambiadores iónicos nuevos y más versátiles, ha reemplazado los materiales originales y sintéticos de tipo zeolita.

El intercambio iónico en el tratamiento de agua está basado en el principio de que las impurezas que se disuelven en el agua se disocian en forma de partículas cargadas positiva y negativamente, conocidas como iones. Estas impurezas o compuestos se denominan electrólitos.

Los iones positivos se denominan cationes porque emigran al electrodo negativo (cátodo en una celda electrolítica). Las partículas negativas son aniones porque son atraídos al ánodo. Por ejemplo, El sulfato de magnesio ($MgSO_4$) se disocia en solución para formar iones positivos de magnesio e iones negativos de sulfato.

El material de intercambio iónico tiene la propiedad de intercambiar un ión por otro, tomándolo temporalmente en combinación química y dándolo en una solución regenerativa fuerte. El cuadro de la figura 12.19a lista los intercambiadores iónico y los productos químicos regenerantes normalmente utilizados en tratamiento de aguas.



Materiales de intercambio iónico	Productos químicos regenerados.
Cambiadores catiónicos:	
CICLO DEL SODIO	
Arena verde natural	NaCl
Gel sintético	NaCl
Carbón sulfonado	NaCl
Resina de estireno.	NaCl
CICLO DEL HIDRÓGENO:	
Carbón sulfonado	H ₂ SO ₄
Resina de estireno.	H ₂ SO ₄ HCl
CAMBIADORES ANIÓNICOS	
Débilmente básico (amina alifática)	Na ₂ CO ₃
(fenólica)	Na ₂ CO ₃
(Estireno)	NaOH
(tipo I)	NaOH
(tipo II)	NaOH

En la tabla 2.3 se muestra un ablandador de agua tipo intercambio iónico[2].

El proceso de ablandamiento de agua utilizando el proceso de intercambio iónico se realiza por medio del paso de agua dura a través de un lecho de resina sintética. Los iones formadores de dureza, el calcio y magnesio del agua, son eliminados del intercambiador por iones sodio no constituyentes de dureza que están agregados a la resina.

Cuando todo el sodio de la resina se ha utilizado, el lecho de resina no mantiene la capacidad de ablandar el agua y debe regenerarse. Esto se hace pasando una cantidad de salmuera en exceso de cloruro sódico a través del lecho de resina para extraer el calcio y el magnesio y sustituir estos elementos por sodio. La salmuera se lava después fuera del lecho con agua, antes de volver a ponerla en operación en el ciclo de ablandamiento.[2]

El control de la calidad de agua se la hace a través de la medición de la dureza de la misma.

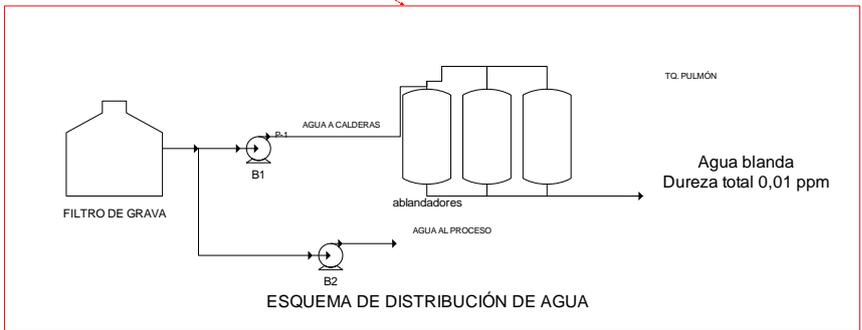
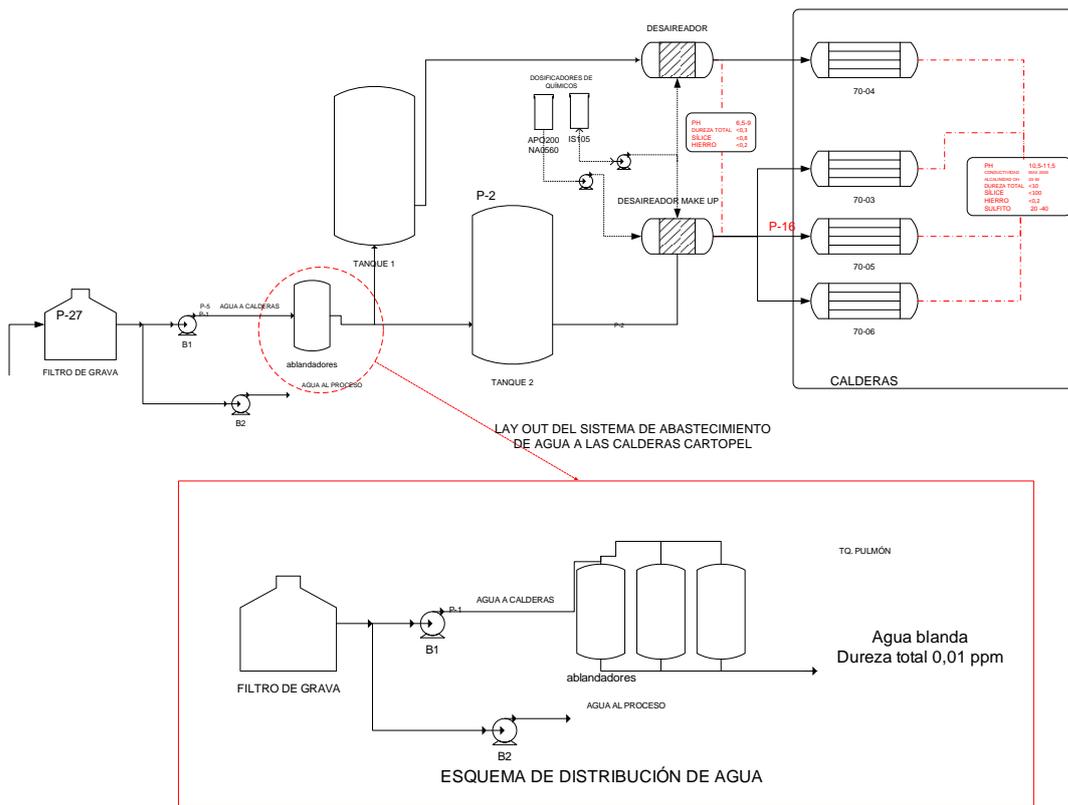


Figura 2.5 Esquema de distribución de agua Cartopel.

2.3.7 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA.

El agua que sale de la unidad de ablandamiento no debe tener más de 0,1 ppm de CaCO_3 de dureza total la misma que se almacena en dos tanque reservorios los cuales se debe chequear constantemente los niveles de agua tratada para pasar a la etapa de des aireación.

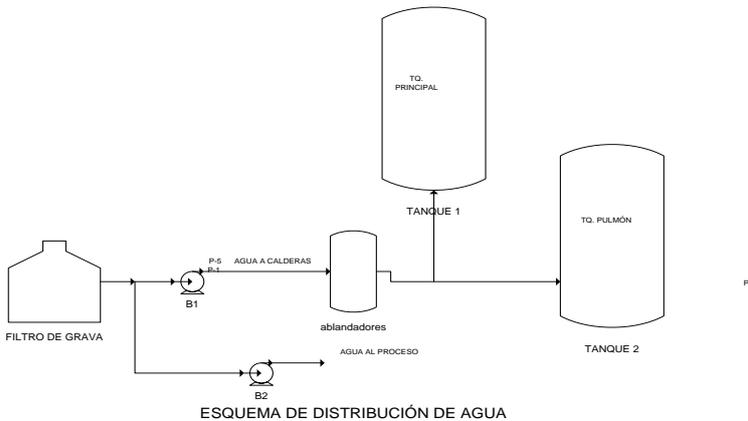


Figura 2.6 Esquema de distribución de agua hacia los tanques reservorios.

El agua proveniente de los ablandadores pasa exclusivamente para uso en calderas por lo que su utilización en el proceso productivo no es aceptable puesto que esta sobre valorada su calidad.

2.3.8 UNIDAD DE DESAIREACIÓN.

INTRODUCCIÓN.

La necesidad de eliminar el oxígeno y dióxido de carbono del agua dealimentación utilizada en calderas, tiene por objetivo prevenir daños porcorrosión en el lado agua de estos equipos.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua causa daños por corrosiónlocalizada, también conocidos como pitting.

En el caso de dióxido de carbono, su disolución en agua provocará bajosniveles de pH y la producción del corrosivo ácido carbónico.

El principio de funcionamiento de los desaireadores se basa en el hecho que lasolubilidad de los gases disueltos en el agua (O₂ y CO₂) disminuye cuando elagua está en el punto de ebullición (100 °C a presión atmosférica).

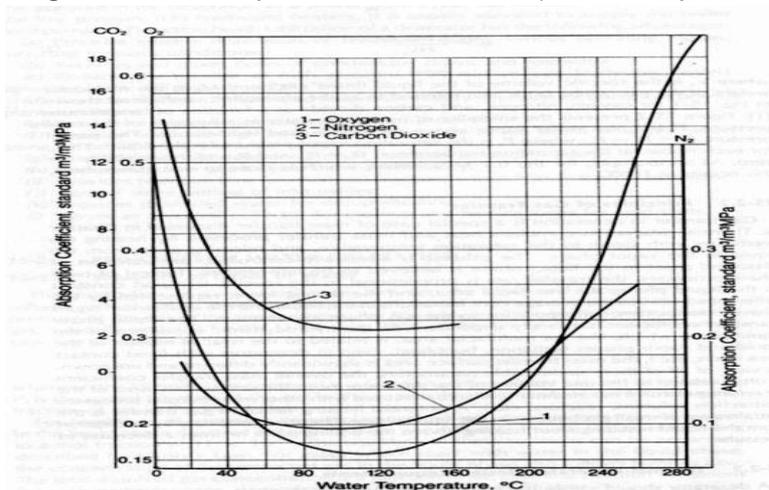


Figura 2.7 Solubilidad del oxígeno en función de la temperatura del agua.

La torre de los desgasificadores está compuesta por bandejas y/o boquillas en las que se aumenta la superficie del agua alimentada, formando cascadas o atomizándola para favorecer la liberación de los gases disueltos.

El agua que desciende por la torre es calentada hasta la temperatura de ebullición por vapor alimentado en contraflujo. La cantidad de vapor alimentada a la base del desgasificador es controlada por una válvula reductora de presión, encargada de mantener la presión de ebullición del agua.

También existe una válvula termostática que controla la cantidad de vapor alimentada al estanque de almacenamiento para mantener el agua a la temperatura de ebullición.

Los gases descargados por el agua son eliminados a través del venteo existente en la parte superior de la torre.[11]

TEORIA DE LA DESAIREACIÓN.

El agua disuelve oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono y otros gases de la atmósfera directamente, hasta el punto de saturación a una presión y temperatura específicas. La solución de aire en agua ocurre de acuerdo con las leyes de Henry y de Dalton, que enuncian: “la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas e inversamente proporcional a la temperatura”.

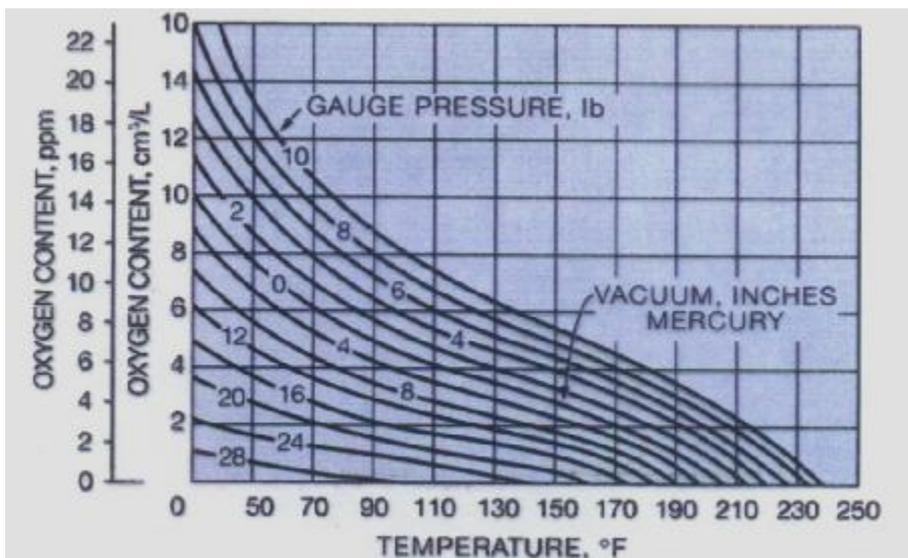
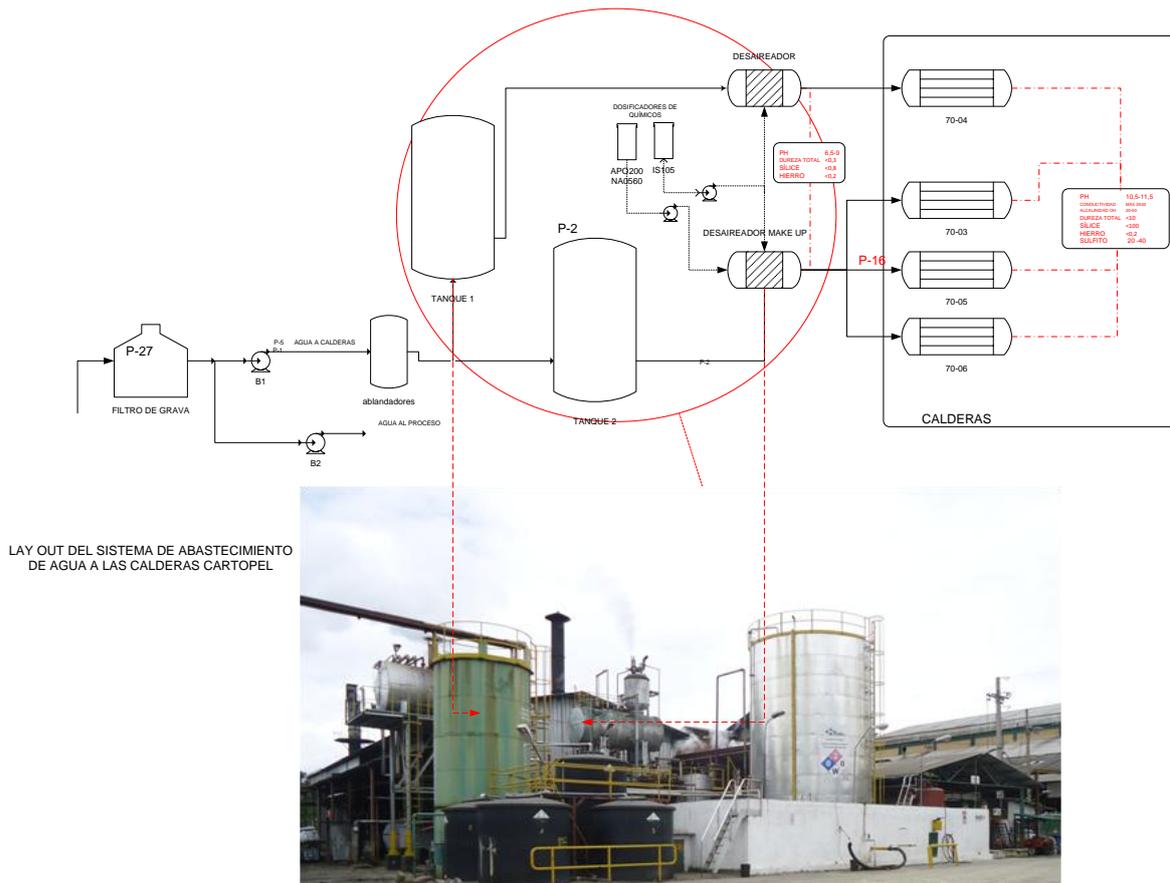


Figura 2.8 Solubilidad del oxígeno Vs. Temperatura.

La remoción de gases del agua, se efectúa por tratamiento mecánico y térmico, por la adicción de productos químicos o por la combinación de estos procesos. El método más ampliamente empleado consiste en calentar en calentadores abiertos o de contacto (presurizados) en los cuales se obliga al agua a una turbulencia lo que facilita la remoción del oxígeno y otros gases no deseados.[12]

La empresa cuenta con dos desaireadores , para el abastecimiento de agua a los calderos distribuido de la siguiente manera:



LAY OUT DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS CALDERAS CARTOPEL

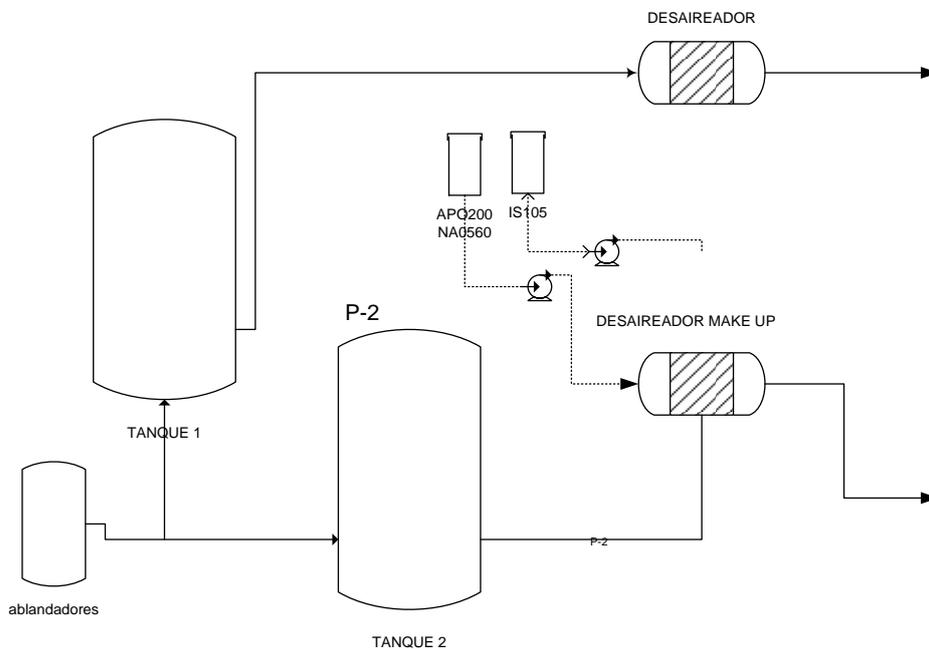


Figura 2.9 Esquema de distribución de agua hacia los Desaeradores Cartopel.

2.4 LAYOUT DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

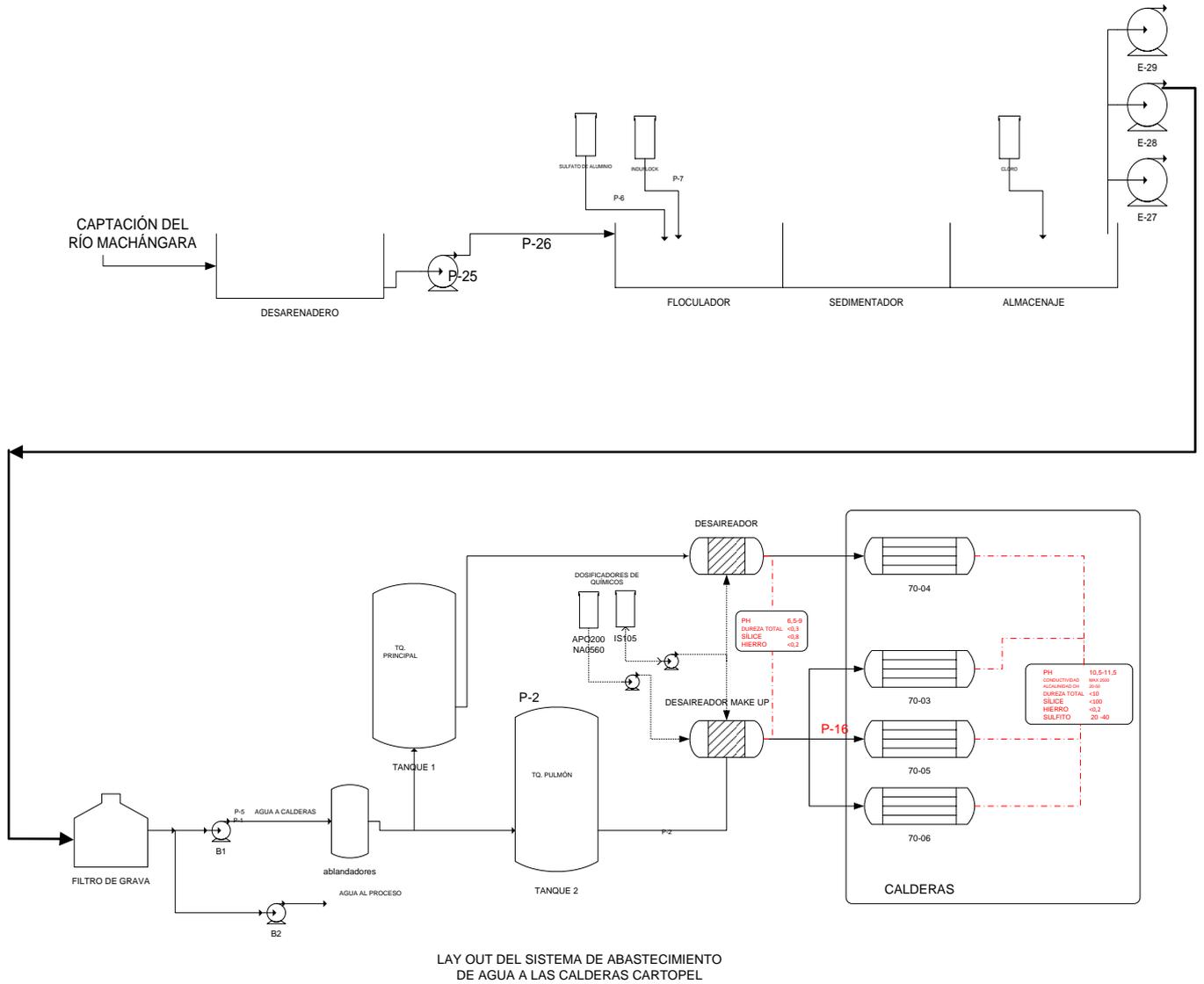


Figura 2.10 Esquema de distribución de agua el sistema de Calderas Cartopel.



CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO EN CALDERAS DE CARTOPEL S.A.I.

3.1 INTRODUCCIÓN.

El análisis de la calidad del agua es una operación fundamental en el control del proceso de tratamiento de agua puesto que brinda mucha información acerca del estado del sistema así como una visión amplia acerca de los diferentes procesos de tratamiento de agua por lo que es necesario tener esta operación de inspección; se sigue la siguiente regla:

“Lo que se mide se controla, lo que se controla se mejora”

3.1.1 Personal

El personal de laboratorio está constituido por un jefe de planta, laboratorista que cumple funciones como operadores de turno. En esta planta los requisitos de personal de laboratorio son de 5840 horas por año ya que trabajan dos turnos cubriendo 16 horas del día, luego en el tercer turno el operador de los calderos se encarga de cubrir este puesto ya que en dicho turno no se presenta mucha exigencia en las labores de análisis y control de los afluentes.

Las responsabilidades del personal de laboratorio son los siguientes:

- Efectuar análisis químicos de rutina para control de los procesos de tratamiento de agua de la planta.
- Tomar muestra de las aguas pre tratadas para su posterior análisis en los horarios establecidos.
- Preparación de soluciones químicas, reactivos y medios de cultivo necesarios para su análisis.
- Mantenimiento del laboratorio, limpieza y preparación de vidriería, equipos e instrumental.
- Responsable de las operaciones del proceso de tratamiento de agua, así como la vigilancia continua del correcto funcionamiento de la misma.

3.1.2 Laboratorio

La empresa Cartopel cuenta con su propio laboratorio de análisis de calidad de agua equipado con instrumentos para la medición de los siguientes parámetros:

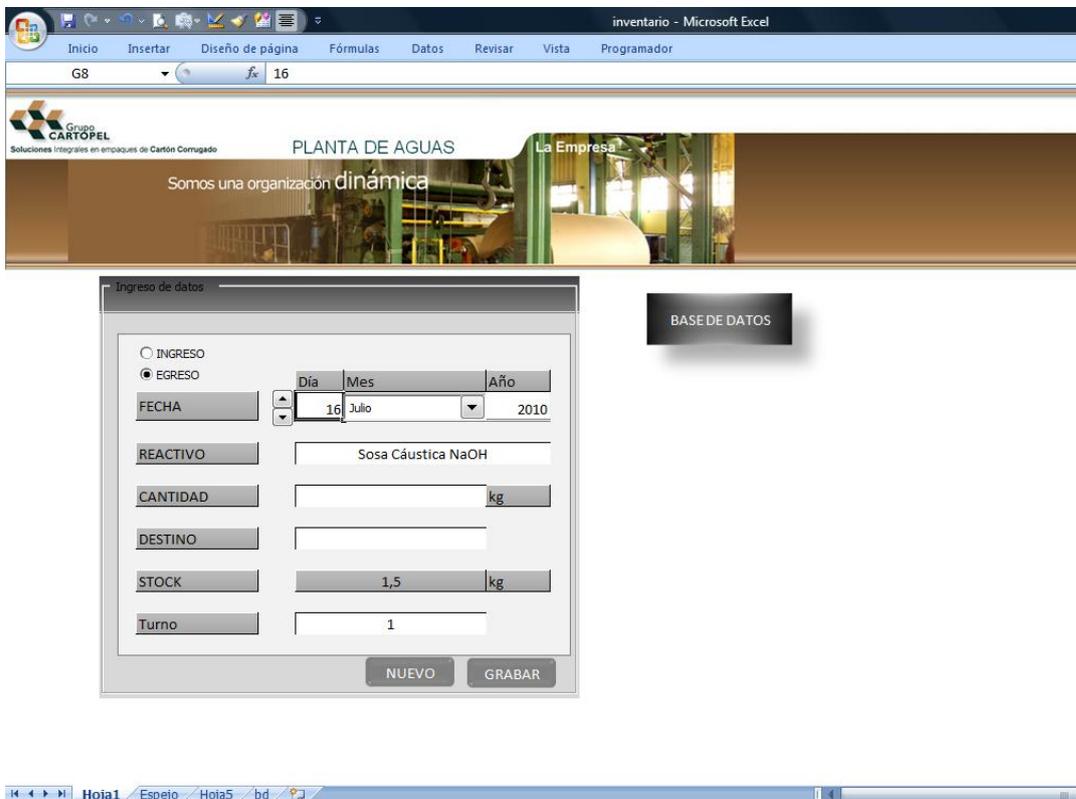
- pH
- Alcalinidad P
- Alcalinidad M
- Alcalinidad OH
- Conductividad
- Dureza total
- Molibdato
- Hierro
- Sulfito
- Turbidez

3.1.3 Gestión de productos químicos utilizados.

Los químicos utilizados son regulados por el CONSEP que provee de químicos como el NaOH, HCL, Ácido Sulfúrico, y otros solo si son justificados mediante un informe de consumo.

La empresa cuenta con una bitácora en el cual se llena los ingresos y egresos de dichos químicos para su posterior revisión.

Se maneja un programa informático realizado en Excel que realiza un informe siguiendo el modelo de un módulo de inventarios el cuál está implementado en la planta de aguas Cartopel.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'inventario - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains a data entry form for chemical inventory. The form is titled 'Ingreso de datos' and includes the following fields:

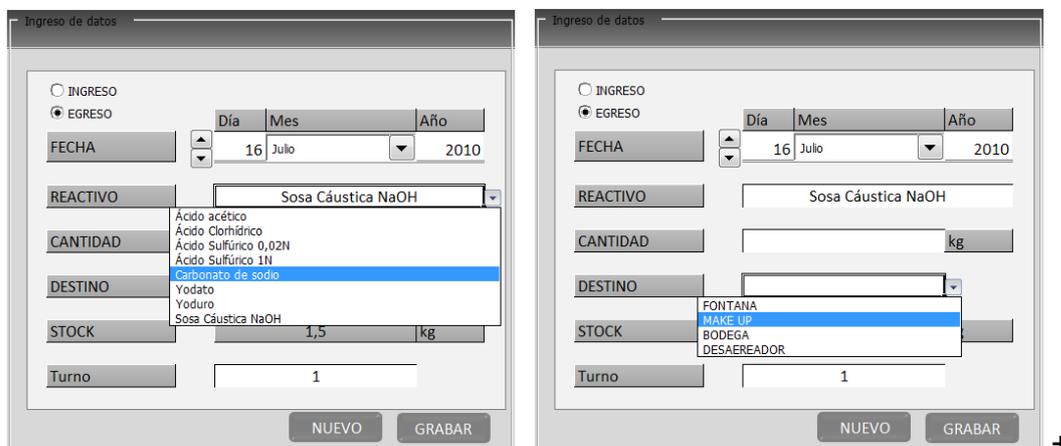
- INGRESO
- EGRESO
- FECHA: 16 Julio 2010
- REACTIVO: Sosa Cáustica NaOH
- CANTIDAD: [] kg
- DESTINO: []
- STOCK: 1,5 kg
- Turno: 1

Buttons for 'NUEVO' and 'GRABAR' are located at the bottom of the form. A 'BASE DE DATOS' button is also visible to the right of the form.

Figura 3.1 En esta pantalla se ingresan los datos de las cantidades de químicos utilizados o ingresados según sea la situación.

Se sigue el siguiente procedimiento:

- 1) En la casilla de verificación se marca si se ingresa o saca productos químicos.
- 2) Se ingresa la fecha.
- 3) Se escoge el químico a procesar dentro del listado.
- 4) Se escoge el destino del químico para tener un seguimiento del inventario así como de la justificación de su utilización.
- 5) Se graba; todos los archivos se guardan en una base de datos en excel para generar reportes a través de tablas dinámicas.



The image displays two screenshots of a software interface titled "Ingreso de datos". Both screenshots show the "EGRESO" (Output) option selected. The left screenshot shows the "FECHA" (Date) as 16 July 2010, "REACTIVO" (Chemical) as Sosa Cáustica NaOH, "CANTIDAD" (Quantity) as 1.5 kg, and "DESTINO" (Destination) as Carbonato de sodio. The right screenshot shows the "FECHA" as 16 July 2010, "REACTIVO" as Sosa Cáustica NaOH, "CANTIDAD" as kg, "DESTINO" as FONTANA, and "STOCK" as BODEGA DESAERADOR. Both screenshots have "NUEVO" and "GRABAR" buttons at the bottom.

Microsoft Excel - inventario

REACTIVO Sosa Cáustica NaOH

Sosa Cáustica NaOH

CONSUMO EN kg

Años	Meses	Fecha	Valores						Total Suma de INGRESO	Total Suma de EGRESO
			1		2		3			
			Suma de INGRESO	Suma de EGRESO	Suma de INGRESO	Suma de EGRESO	Suma de INGRESO	Suma de EGRESO		
2010	abr		25	1	0	1,5	0	0	25	2,5
	may		0	8,75	0	4,5	0	0	0	13,25
	jun		25	18,75	0	9,5			25	28,25
	jul		25	8	0	1			25	9
	ago	01-ago			0	2			0	2
		02-ago			0	2			0	2
		09-ago			0	2			0	2
		14-ago	0	2,5					0	2,5
		18-ago	0	2					0	2
		30-ago	0	2					0	2
	sep	12-sep	0	2					0	2
	oct	01-oct	0	2					0	2
		05-oct	0	3					0	3
		13-oct	0	1					0	1
		19-oct	25	1					25	1
		24-oct	0	1,5					0	1,5
		31-oct	0	1					0	1
	nov	01-nov	0	1					0	1
		04-nov	0	1					0	1
		13-nov	0	1					0	1
		14-nov	0	1					0	1
		19-nov	0	1					0	1
	dic	01-dic	0	1					0	1
		03-dic	0	2					0	2
		09-dic	0	2					0	2
		11-dic	0	2					0	2
		14-dic	0	2					0	2
		15-dic	0	2					0	2
		19-dic	0	2					0	2
2011	ene	07-ene	0	0,5					0	0,5
		10-ene			0	3			0	3
Total general			100	73	0	25,5	0	0	100	98,5

Figura 3.2 La autoría de este programa es producto de la elaboración de esta tesis.

Este informe se entrega al personal de bodega para su informe al CONSEP. Entonces gracias a la elaboración de este programa informático se tiene un control más preciso de los inventarios de productos químicos ya que se ha facilitado el trabajo de revisión y tratamiento de datos, así como su búsqueda y la disminución de tiempos improductivos.

3.2 CONTROL ANALÍTICO DEL TRATAMIENTO DE AGUA.

Procedimiento: en el Anexo 1 se detalla la documentación de los procedimientos realizados en la empresa Cartopel:



CAPITULO IV

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA INFORMÁTICO DE INGRESO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

El tratamiento de los datos ingresados de los parámetros vistos en los capítulos anteriores se vuelve muy complejo y difícil de interpretar por lo que urge de un sistema que transforme una gran cantidad de caracteres o datos puntuales en un sistema de información que sea de ayuda en la toma de decisiones precisa y en el momento indicado por lo que se va a desarrollar un programa informático elaborado 100% en la herramienta Microsoft Excel 2007 utilizando programación básica sin introducirse a campos complejos de programación.

4.2. REQUERIMIENTOS DEL NUEVO PROGRAMA.

El programa informático a realizarse debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Los datos deben introducirse de una manera dinámica y segura.
- El almacenamiento de datos debe ser muy segura y debe estar fuera del acceso de personas no autorizadas.
- Debe brindar una apreciación total del estado del sistema de abastecimiento de agua.
- La interface visual debe ser ergonómica y de interpretación general siguiendo normas de seguridad.
- Debe contar con un respaldo histórico de la evolución de los parámetros de medición.
- Debe contar con un sistema de toma de decisiones basados en los datos ingresados.
- Debe contar con un reporteador dinámico de fácil uso.
- Económico.

4.3 ETAPA DE DISEÑO.

Para empezar se estudió la actual recolección de datos y se concluyó que la forma de realizar este proceso es muy ineficiente y carente de análisis ya que se ha vuelto una actividad mecánica.

La forma en que se recolecta la información es el siguiente:



- a. Se ingresan los datos en un archivo de registro diariamente a cargo de los analistas de aguas llenando parcialmente datos en el turno de 7:00 – 15:00 y completándolo en el turno de 15:00-23:00. Dicho registro se detalla a continuación.

Anexo 2: Formato de la hoja de control diario utilizado en la planta de aguas de la Empresa Cartopel

- b. Las hojas de registro diario se almacenan en una carpeta, se analizan comparándolos entre los parámetros de forma empírica a partir de la experiencia y criterio del analista por lo que se no es un proceso que se puede delegar a otros trabajadores. Estos reportes luego a final de mes se almacenan en archivadores.

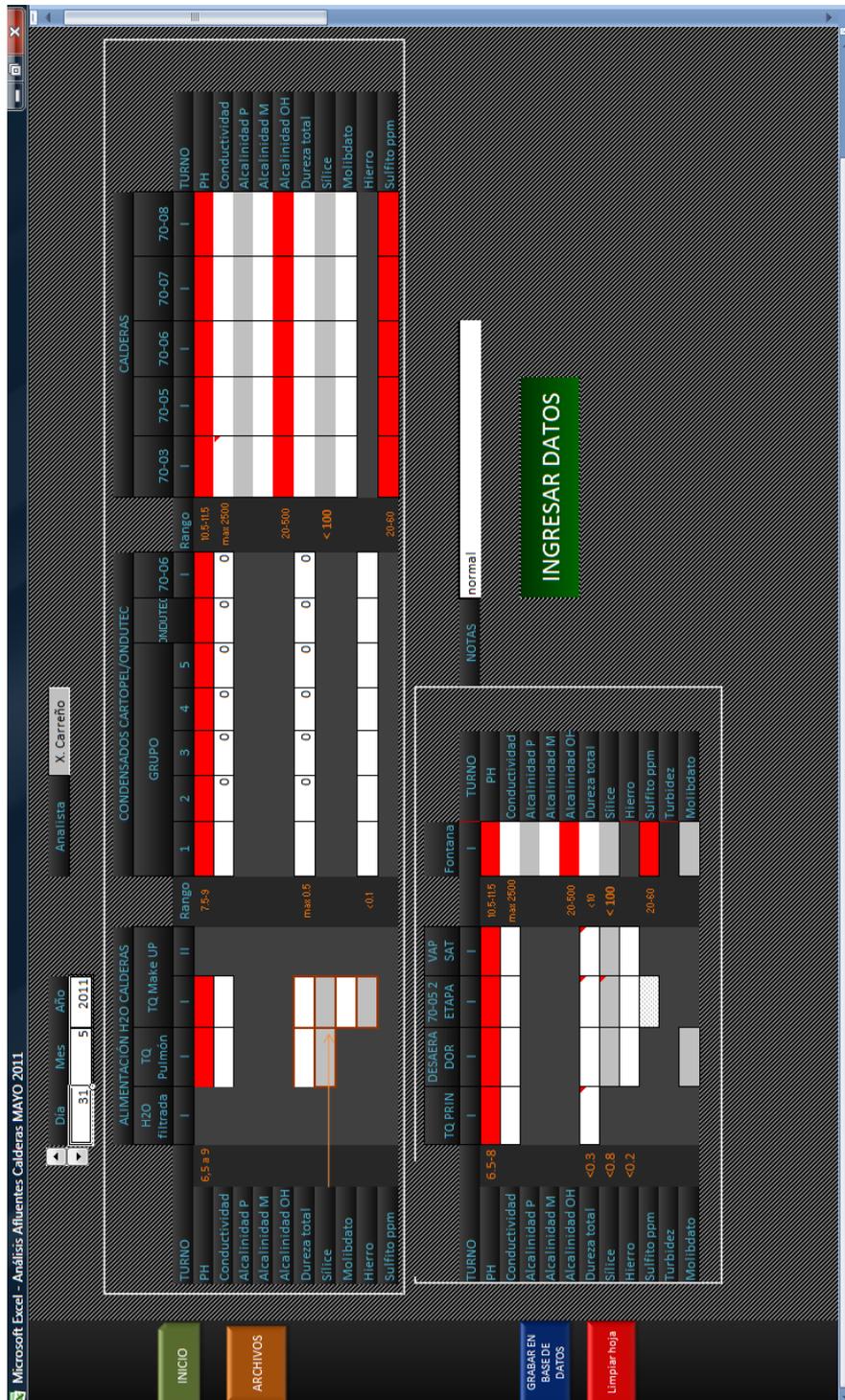
4.4 ETAPA DE ELABORACIÓN.

Para la elaboración del nuevo sistema de ingreso de datos se partió de la misma hoja de registro diario de datos de mediciones del agua por lo que el usuario no va a tener mayor complejidad en relacionarse con la misma disminuyendo ampliamente la curva de aprendizaje.

Se utilizaron las siguientes herramientas de Microsoft Excel para elaborar el programa de ingreso de datos:

- Formatos condicionales.
- Validación de datos.
- Controles de formulario.
- Hipervínculos.
- Macros.
- Análisis Si
- Bloqueo de celdas.

Figura 4.2 A continuación se presenta la nueva hoja de entrada de datos realizado en Microsoft Excel.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - Analiza Afluentes Calderas MAYO 2011'. The spreadsheet is organized into several data entry sections:

- ALIMENTACIÓN H2O CALDERAS:** Includes fields for H2O filtrada, TQ, Turbidez, and TQ Make Up. Below this are rows for parameters: TURNO, PH (6.5-9), Conductividad (7.5-9), Alkalinidad P (max 0.5), Alkalinidad M (max 0.5), Alkalinidad OH (<0.1), Silice, Hierro, Sulfito ppm, and Molibdato.
- CONDENSADOS CARTOPE/ONDUTEC:** Includes a 'GRUPO' column (1-5) and rows for parameters: TURNO, PH (10.5-11.5), Conductividad (max 2500), Alkalinidad P, Alkalinidad M, Alkalinidad OH, Dureza total (<100), Silice, Hierro, Sulfito ppm, and Molibdato.
- CALDERAS:** A grid of data entry fields for parameters across dates 70-03 to 70-08.
- DESAGÜERA 70-05.2:** Includes fields for DOR, ETAPA, VAP, and SAT. Below are rows for parameters: TURNO, PH (6.5-8), Conductividad (10.5-11.5), Alkalinidad P (max 2000), Alkalinidad M, Alkalinidad OH, Dureza total (<10), Silice (<100), Hierro, Sulfito ppm (20-60), Turbidez, and Molibdato.
- Fontana:** A section for additional data entry with the same parameter rows as the other sections.
- NOTAS:** A text field containing the word 'normal'.
- Buttons:** 'INGRESAR DATOS' (green), 'INICIO' (green), 'ARCHIVOS' (orange), 'GRABAR EN BASE DE DATOS' (blue), and 'Limpiar hoja' (red).

Para el ingreso de datos se parte del registro existente.

El ingreso de datos se da directamente en la pantalla presentada en la figura anterior por parte del analista de agua, esta interface gráfica consta de las siguientes características:

La pantalla gráfica está adaptada para ambientes de baja o alta iluminación por su contraste evitando errores provocados por el brillo o difuminación de las imágenes.

Se ha implementado herramientas graficas indicadoras de estado del dato de la medición ingresado para una mayor rapidez en la interpretación de los mismos por lo que si se ingresa un dato fuera del parámetro, el casillero se tornará de un color rojo o a su vez se resaltará un semáforo que indica que el dato no corresponde a los parámetros.

El algoritmo de ingreso de datos se detalla a continuación:

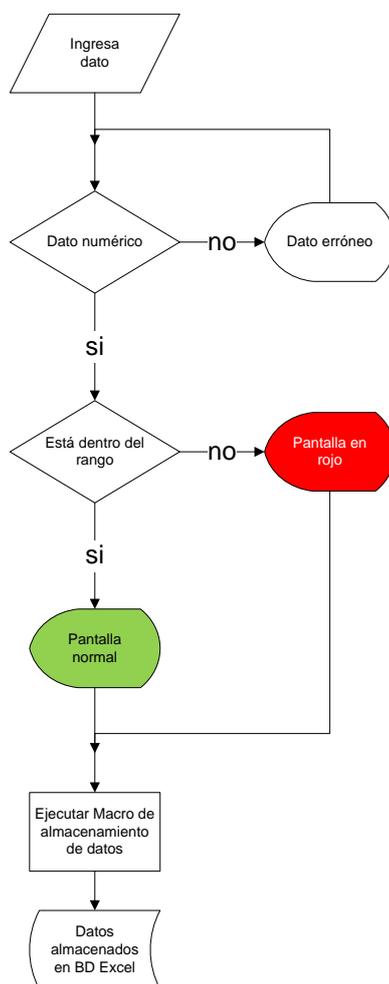


Figura 4.3 Algoritmo de ingreso de datos

Como existe la probabilidad de error al introducir datos que no son numéricos se ha elaborado un sistema de bloqueo validando datos en las celdas de ingresos.



Además de introducir los datos de los parámetros a controlarse, se deben ingresar los datos de nombre de analista, notas adicionales.

4.4.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

La estructura del programa consta de:

- Un panel principal o de presentación que indique el estado total del sistema.
- Una hoja de ingreso de datos.
- Una hoja para cada parámetro a controlarse.
- Base de datos.
- Buscador de reportes ingresados.

Para pasar entre ventanas se insertaron hipervínculos.

4.4.2 PARÁMETROS, EQUIPOS Y RANGOS DE CALIDAD A CONTROLARSE.

Se Controlarán los siguientes parámetros en los siguientes equipos:

VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADOR	RANGO		
		TQ. Alimentación.	Retorno de condensado	Calderas
pH.		6,5 – 9	7,5 - 9	10,5 - 11,5
Conductividad.	umhos/cm			max 2500
Alcalinidad P.	ppm CaO3			
Alcalinidad M.	ppm CaO3			
Alcalinidad OH.	ppm CaO3			20 - 500
Dureza Total.	ppm CaO3	< 0,3	max 0,5	
Sílice.	ppm SiO3	< 0,800	max 1	< 100
Molibdato.	Ppm			0,65 - 0,7
Hierro.	ppm Fe	< 0,2	< 0,1	
Sulfitos.	ppm SO3			20 - 40

Tabla 4.1 Límites de parámetros de calidad impuestos por la Ing. Claudia Espinoza, consultora de planta de Aguas-Cartopel.

EQUIPOS A CONTROLAR:

CALDERAS: PELUCCI

CLEAVER BROOKS

BABCOCK WILCOX

FONTANA

TANQUES: PRINCIPAL

PULMÓN

OTROS DESAERADOR

MAKE UP

CONDENSADOS CARTOPEL-ONDUTEC

Indicadores gráficos de límites de control.



Peligro

Alerta

Correcto

4.5 ALMACENAMIENTO DE DATOS.

El almacenamiento de datos se la realiza con la ayuda de una macro que realiza una serie de subrutinas copiando los datos introducidos, clasificándolos y guardándolos en una hoja nueva de Excel para luego tener una Base de datos general que va a servir de base para los análisis posteriores.

4.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.

El almacenamiento de datos se da de la siguiente forma:

Se ingresa la fecha y nombre de analista la hoja de Excel de ingreso de datos.

Se ingresan todos los datos de las mediciones de los parámetros a controlarse en las celdas correspondientes a cada análisis.

Luego de haber llenado los datos se procede a guardar en la base de datos, para esto hay que pulsar el botón de:

GRABAR EN
BASE DE
DATOS

Al pulsar este botón se ejecuta una macro que almacena los datos ingresados en una hoja oculta de Excel para evitar la manipulación de datos por lo que se recomienda verificar que los datos estén correctamente ingresados que antes de grabarlos, ya que desde este puntos de ejecución de la macro no hay retorno.

Al grabar los datos aparecerá en la pantalla el siguiente mensaje:



Este mensaje indica que automáticamente se guardará el archivo de Excel en la ruta especificada por la empresa ya sea en una carpeta en la computadora del laboratorio de de análisis de agua así como una carpeta compartida en un sistema de transmisión de datos por una red.

Se debe pulsar Sí para reemplazar el archivo guardado anteriormente por el nuevo que contiene los datos ingresados más recientes; además se crea un respaldo en la misma carpeta para restaurar el sistema hasta el punto anterior, esto se da en caso de ingresos erróneos.

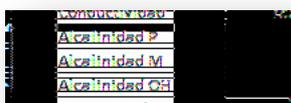
Al finalizar el ingreso la pantalla mostrará un mensaje que indica que los datos se han ingresado correctamente:



Para ingresar una nueva hoja de datos correspondientes a un nuevo día se debe limpiar la hoja para lo cual debemos pulsar :

Limpiar hoja

Este botón ejecuta una macro que borra todos los datos ingresados anteriormente dejando las celdas en blanco listas para una nueva introducción de datos. Esta operación se la debe realizar antes del ingreso de datos de cada día; para verificar si los datos en las celdas han sido o no ingresados se debe tomar en cuenta el mensaje de la pantalla que me indica lo siguiente:



Los datos ya han sido almacenados.

Alerta: No pulsar “Grabar en base de datos” ni ingresar datos en las celdas. Pulsar “Limpiar hoja” para ingresar nuevos datos.

INGRESAR DATOS

La hoja de ingreso de datos electrónica de excel está lista para ingresar nuevos datos.

Este proceso se debe raealizar todos los días ingresando los datos resultantes de los análisis sin importar su valor ni manipulandolos para ubicarlos dentro de un rango; el sistema de toma de decisiones descrito más adelante nos indicará las acciones que se debe tomar para corregir el sistema.

4.5.2 DESCRIPCIÓN DE BASE DE DATOS UTILIZADA.

Todos los datos ingresados se almacenan en una hoja de Excel en el mismo libro del archivo en el que se está trabajando por lo que no es necesario de una base de datos externa ni compleja para tratar estos datos, sin embargo estos datos son susceptibles apérdida ya sea por daño del equipo así como borrado del programa por lo que se recomienda que el sistema de ingreso de datos esté conectado a una red perteneciente al departamento de sistemas Cartopel para que proteja estos datos a al menos realice un respaldo periódico.



Otra manera de proteger los datos es guardando el archivo en una memoria externa de forma periódica ya sea semanal o quincenalmente.

El formato de almacenamiento de datos se detalla a continuación:

Figura 4.3 Base de datos Microsoft Excel.

Esta hoja se puede guardar con un formato compatible para cualquier base de datos gracias a que Microsoft Excel guarda la base de datos con una gran variedad de formatos comunes como bloc de notas que luego se importa a cualquier sistema.

La base de datos de de Microsoft Excel esta oculta para evitar la manipulación de la información así como su perdida.

4.5.3 NORMAS DE SEGURIDAD EN PROTECCIÓN DE DATOS.

Como los datos son fácilmente manipulables se ha realizado un sistema de seguridad basándonos en las herramientas del propio Excel:

La pantalla de ingreso de datos no se puede modificar ya que ha sido protegida con una contraseña de acceso a cambios fijada por mi autoría.

Se ha restringido el acceso solo a las celdas en las que se va a ingresar los datos

La navegación del programa se va a dar solamente por hipervínculos por lo que se ha ocultado la ficha de hojas.



Si se logra aparecer el fichero se ha introducido una contraseña en la protección de base de datos, y estructura del programa haciendo imposible su manipulación.

En la ejecución de cada macro se ha introducido una subrutina que quita ciertas propiedades de Excel como la visualización del fichero de hojas, visualización de fórmulas, vista de títulos y ejecuta el sistema en modo de pantalla completa.

Se ha suprimido la visualización de la ejecución de macros con el siguiente comando *“Application.ScreenUpdating = False”*

Si existe la presencia de personal con conocimientos en programación que desea cambiar o modificar el programa por medio de visual Basic se ha introducido una contraseña de ingreso a la visualización de los módulos lo cual bloquea cualquier intención de manipulación convirtiendo a este programa un sistema seguro sin posibilidad de cambios.

4.6 EXPLORADOR DE REGISTRO.

Para la navegación de los registros ingresados anteriormente en Excel se hace necesario contar con una herramienta que permita buscar con mayor rapidez y eficiencia los registros ingresados en días anteriores basándonos únicamente en la fecha de ingreso del registro.

Para esto se implementó un sistema de búsqueda de reportes utilizando herramientas de búsqueda de Excel.

Se partió del mismo formato de la hoja electrónica de ingreso de datos para no romper el grado de familiaridad entre el usuario y el archivo:

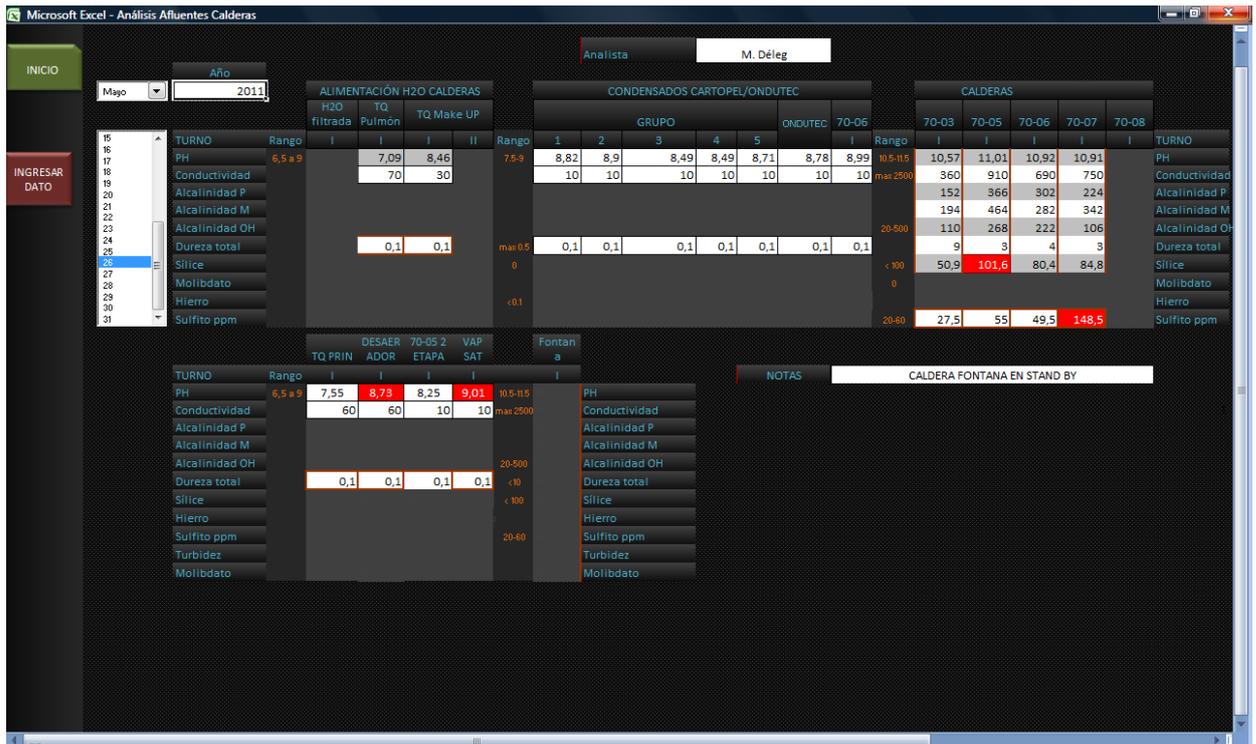


Figura 4.4 Esquema de buscador informático de registros ingresados.

Para la navegación entre los archivos se ha elaborado una herramienta exploradora que consta de una lista desplegable con los días del mes, así como la validación de la celda que indica los meses y años.



Si un dato no se ha ingresado en cualquier dato de cualquier parámetro se ha realizado un formato condicional que resalta o a su vez oculta la celda como se ve a continuación.



CAPITULO V

ANÁLISIS DE DATOS.

5.1 GENERADOR DE REPORTE.

Para crear un sistema de información es indispensable la creación de reportes que sean un pilar fundamental en la toma de decisiones en el sistema de control de calidad de agua, para esto se debe encontrar la respuesta a las siguientes preguntas: “ ¿Cómo se ha comportado el sistema hasta ahora?”; ¿Cuál es su tendencia?”; ¿Cuál es el estado del sistema ahora?; además de tener los promedios de mediciones en una cierta escala de tiempo.

5.2 PARÁMETROS DEL REPORTE.

El reporte analiza cada uno de los parámetros y equipos mencionados anteriormente pero adaptado exclusivamente para el control de calderas:

VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADOR	Rango Calderas
pH.		10,5 - 11,5
Conductividad.	umhos/cm	max 2500
Alcalinidad P.	ppm CaO3	
Alcalinidad M.	ppm CaO3	
Alcalinidad OH.	ppm CaO3	20 - 500
Dureza Total.	ppm CaO3	
Sílice.	ppm SiO3	< 100
Molibdato.	Ppm	0,65 - 0,7
Hierro.	ppm Fe	
Sulfitos.	ppm SO3	20 - 40

Tabla 5.1 Límites de parámetros a controlar en las calderas de la empresa Cartopel.

Los límites de control de los parámetros de la tabla fueron impuestos por las Ing. Claudia Espinoza, consultora de tratamiento de agua para calderas de planta Cartopel.

5.3 EQUIPOS A REPORTARSE.

Los equipos destinados para la generación de reportes son las calderas:



Código	Nombre/Marca	Tipo	Potencia BHP	Tq. Alimentación	Unidad desaeradora
70-04	FONTANA	Acuatubular	1100	TQ. PULMÓN	DESAERADOR
70-03	PELUCCI	Pirotubular	600	TQ. PRINCIPAL	MAKE UP
70-05	BABCOCK WILCOX	Acuatubular	1100	TQ. PULMÓN	MAKE UP
70-06	CLEAVER BROOKS 1400	Pirotubular	1400	TQ. PULMÓN	MAKE UP
70-07	CLEAVER BROOKS 800	Pirotubular	800	TQ. PULMÓN	DESAERADOR

Tabla 5.2 *Detalle de calderas a controlar.*

5.4 DISEÑO DEL REPORTE.

El diseño del reporte debe tener los siguientes parámetros:

- Curva de estado del parámetro.
- Relación de la medición con relación a una escala de tiempo.
- Opción de poder elegir entre cualquier caldera deseada.
- Poder agrupar los datos en una escala de tiempo deseada.
- Límites de control gráficos.
- Semáforos indicadores del estado del sistema.

Elaboración:

La herramienta más versátil para cumplir las condiciones antes mencionadas es la de **Tablas dinámicas** que esta disponible en Excel. Esta herramienta es una ayuda muy útil en el tratamiento de una gran cantidad de datos como en este caso.

Para realizar dicha tabla lo único que se necesita es la disponibilidad de una base de datos muy detallada de todos los parámetros a controlar dependiendo del equipo en el cual se tomó la medición.

A continuación se puede apreciar el resultado final del reporteador gráfico satisfaciendo los puntos mencionados anteriormente.



Figura 5.1 Panel de historial 1.

En este caso se analiza el comportamiento del pH del agua de alimentación de la caldera Cleaver Brooks y se puede observar que está dentro del rango permisible por lo que el analista puede estar seguro de que el sistema está en perfectas condiciones con lo que respecta el pH ya que cuenta con un sistema de información y no datos puntuales como tenía anteriormente.



Figura. 5.2 Panel de historial 2.

En el reporte anterior se puede observar que los datos de sílice de la caldera 70-07 están totalmente fuera de rango en los días del 11 hasta el 19 de mayo, luego se reubica en el área de control, pero luego tiende a elevarse y finalmente baja pero a un nivel de alerta.

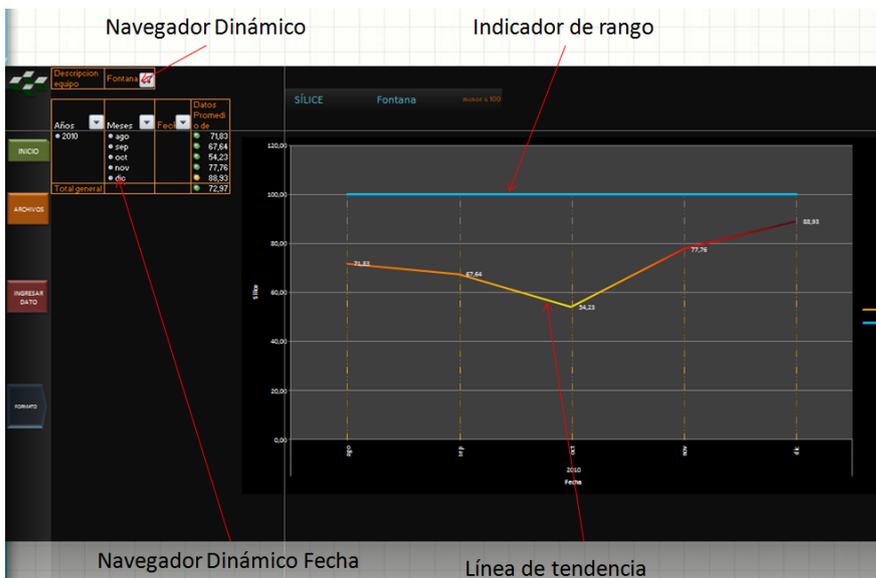
Los semáforos indican el nivel de sílice de las calderas codificado por el siguiente color:



- PELIGRO:** Nivel alto de sílice MAYOR A 100 ppm
- ALERTA:** Nivel de sílice próximo al límite MAYOR A 90 ppm
- CORRECTO:** Nivel de sílice aceptable MENOR A 90 ppm

El sistema es capaz de agrupar las fechas ya sea por días, meses o años.

A continuación de indican algunas características del reporteador.



Navegador Dinámico Fecha
Línea de tendencia

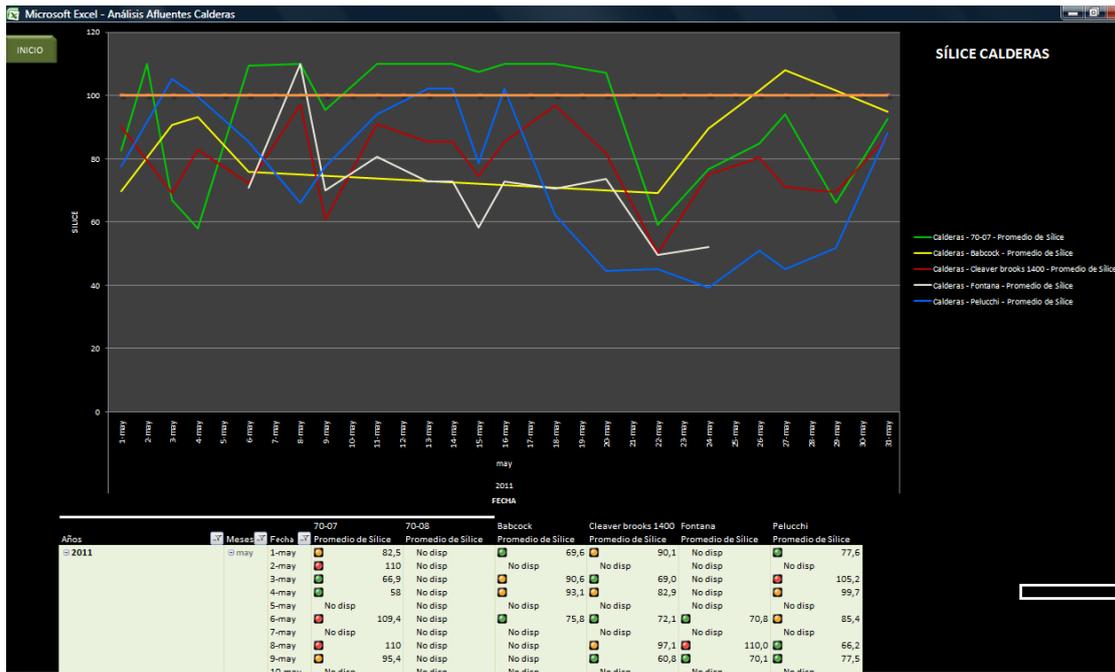


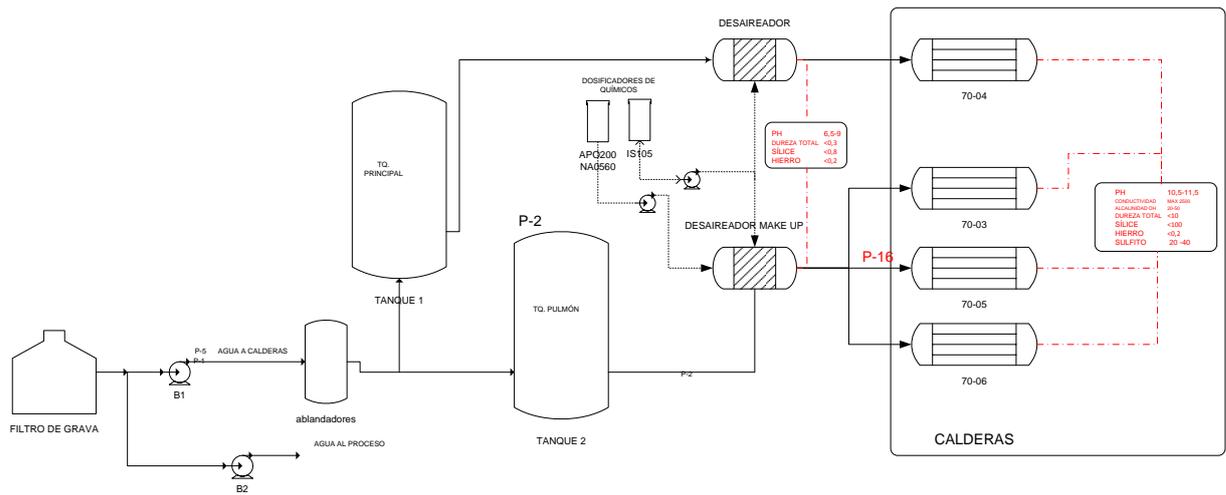
Figura 5.3 Descripción de partes del sistema gráfico de los reportes.

5.6 PANEL PRINCIPAL DE ESTADO DE CALIDAD DE AGUA.

Luego de haber generado estos reportes dinámicos de control de calidad del agua es necesario crear un sistema que me indique el estado total del sistema de abastecimiento de agua.

Para esto necesitamos esquematizar la distribución de los equipos y el flujo que sigue el agua hacia cada una de las calderas.

A continuación se esquematiza la distribución de los equipos que se trasladará posteriormente al Excel:



LAY OUT DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA A LAS CALDERAS CARTOPEL

Figura 5.4 *Layout general del sistema de abastecimiento de agua de calderas-Cartopel.*

Este esquema debe constar con medición de los siguientes parámetros más relevantes:

PH
 Conductividad
 Alcalinidad OH
 Dureza total
 Sílice
 Sulfito ppm

Es necesario implementar un sistema de semáforos para la fácil interpretación de los datos.



Figura 5.5 Esquema del sistema gráfico que representa a una caldera y sus parámetros con la señalización respectiva.

Con este sistema de semáforos ya no es necesario concentrarse en el valor del parámetro sino solamente visualizar el color para saber el estado de la caldera.

El sistema de visualización de las calderas quedaría de la siguiente forma:

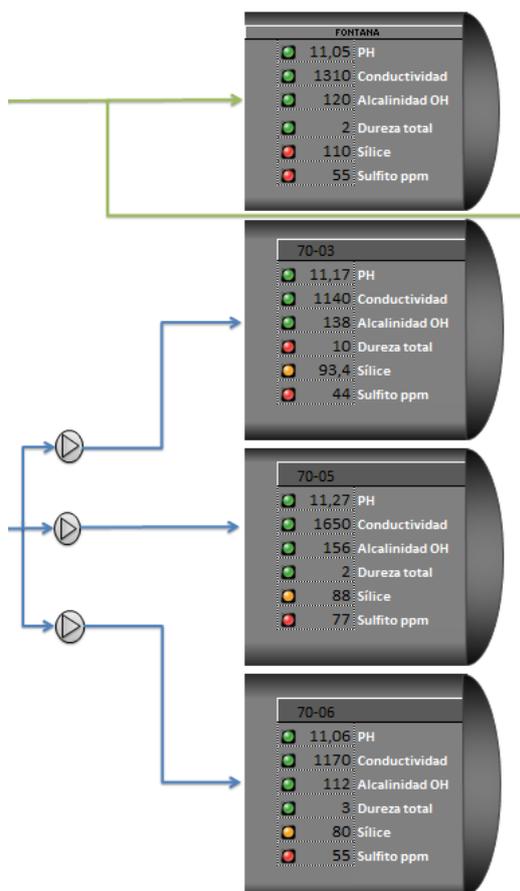


Figura 5.6 Esquema de la distribución de las calderas en el sistema informático.

Se ha trabajado con las 4 calderas existentes, pero se ha dejado un cupo en el sistema para 2 calderas adicionales.

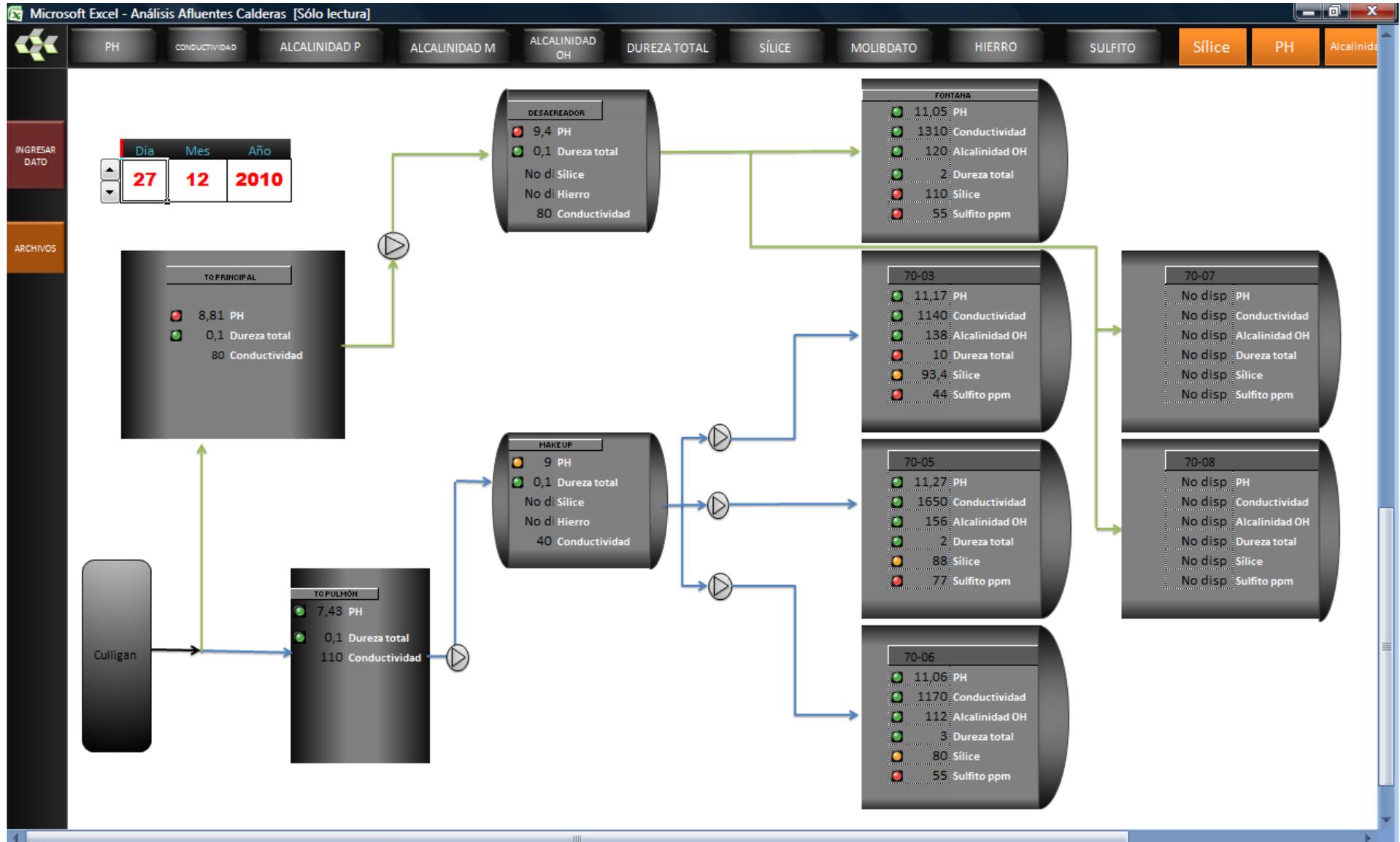


Como se puede observar en la fig. anterior ya no es necesario enfocarse en los valores de cada parámetro ya que la ergonomía ocular de los colores ha facilitado rotundamente la interpretación de los valores a pesar de su número.

El mismo tratamiento en la visualización se hizo para los tanques y equipos de distribución:

El panel principal resultante es el siguiente:

Figura 5.7 Esquema del panel principal del software informático de control de calidad de parámetros de agua de abastecimiento en las calderas-Cartopel S.A.I.





En el panel se puede apreciar que el estado del sistema es función de la fecha de ingreso que se sitúa en la esquina superior derecha.

Además el sistema de navegación consta de una serie de hipervínculos en botones que facilitan la navegación entre hojas de Excel.

El control de calidad de agua resulta más fácil al implementar un nuevo sistema de visualización mediante la utilización de semáforos de Excel.

Al tener un sistema informático que indique el estado total de la calidad de agua de las calderas podemos tomar decisiones, pero ahora la pregunta a responder es: **¿Que acción debo tomar con estos datos?. Para esto hay que elaborar un sistema de toma de decisiones detallado en el capítulo siguiente.**

CAPITULO VI

SISTEMA DE TOMA DE DECISIONES BASADOS EN MEDIDAS DE SÍLICE, Alcalinidad OH Y CONDUCTIVIDAD.

6.1. RELACIÓN ENTRE ALCALINIDAD, SÍLICE, Y CONDUCTIVIDAD.

Como se estipulo anteriormente la relación entre estas variables es muy grande por lo que podemos se recurrió a la consulta de la Ing. Claudia Espinoza para la elaboración de este sistema de decisiones.

En cada análisis de datos el resultado final es un número de purgas que se ha de realizar en un cierto periodo de tiempo.

Se ha tomado los datos obtenidos mediante un historial de purgas en función de los tres parámetros descritos a continuación:

4 purgas					
Suma de SÍLICE	Suma de ALCALINIDAD OH	Suma de CONDUCTIVIDAD	Suma de KG Na OH	Suma de N purgas/dia	Suma de OH/si
109	380	2190	0	4	3,5
95,2	260	1840	0	4	2,7

max	109	380	2190	3,5
min	95,2	260	1840	2,7
promedio	102,1	320,0	2015,0	3,1
desv est	9,76	84,85	247,49	0,5
rango	13,8	120	350	0,8



3 purgas					
Suma de SÍLICE	Suma de ALCALINIDAD OH	Suma de CONDUCTIVIDAD	Suma de KG Na OH	Suma de N purgas/dia	Suma de OH/si
70,2	270	1890	0	3	3,8
61,2	250	1740	0	3	4,1
88	280	1740	0	3	3,2
80,1	240	1600	0	3	3,0
75,2	230	1590	0	3	3,1
74	270	1580	0	3	3,6
95,8	260	1600	0	3	2,7
91,3	200	1570	0	3	2,2
103,1	180	1580	0	3	1,7
70,3	220	1430	0	3	3,1
110	140	1460	0	3	1,3
64	260	1360	0	3	4,1
82,3	200	1290	0	3	2,4
110	140	1310	0	3	1,3
44,7	120	1120	0	3	2,7
105,1	130	1150	0	3	1,2
73,5	120	1110	1	3	1,6

max	110	280	1890	4,1
min	44,7	120	1110	1,2
promedio	82,3	206,5	1477,6	2,7
desv est	18,49	57,76	227,75	1,0
rango	65,3	160	780	2,8

2 purgas					
Suma de SÍLICE	Suma de ALCALINIDAD OH	Suma de CONDUCTIVIDAD	Suma de KG Na OH	Suma de N purgas/dia	OH/si
110	160	1340	0	2	1,5
103	160	1000	0	2	1,6
98,7	200	1680	0	2	2,0
91	180	1420	0	2	2,0
83,1	180	1220	0	2	2,2
81,9	200	1210	0	2	2,4
81,3	260	1630	0	2	3,2
80,1	140	1030	1	2	1,7
79,2	160	1410	0	2	2,0
78,5	148	1070	0	2	1,9
75,4	120	1210	0	2	1,6
75,3	240	1310	0	2	3,2
70,2	150	1200	0	2	2,1
62,5	170	1050	0	2	2,7
60,5	200	980	0	2	3,3
58,3	160	950	0	2	2,7
56,4	170	950	0	2	3,0
51,5	200	1160	0	2	3,9
48,7	140	780	0	2	2,9
45,4	190	1050	0	2	4,2
44,8	140	800	0	2	3,1

max	110	260	1680	4,2
min	44,8	120	780	1,5
promedio	73,1	174,7	1164,3	2,5
desv est	18,72	34,08	240,37	0,8
rango	65,2	140	900	2,7

0 purgas					
Suma de SÍLICE	Suma de ALCALINIDAD OH	Suma de CONDUCTIVIDAD	Suma de KG Na OH	Suma de N purgas/día	OH/si
100,4	280	1760	0	0	2,8
56,9	140	610	1	0	2,5
101,2	250	1620	0	0	2,5
55,8	160	470	1	0	2,9
53,3	160	970	0	0	3,0
27,7	40	430	2	0	1,4
28,2	60	350	0	0	2,1
98,6	254	1700	0	0	2,6
72,3	140	460	1	0	1,9

max	101,2	280	1760	3,0
min	27,7	40	350	1,4
promedio	66,0	164,9	930,0	2,4
desv est	29,09	83,91	600,08	0,5
rango	73,5	240	1410	1,6

Tabla 6.1 Resultado del muestres realizado a partir de datos de análisis anteriores.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PURGAS.

Se realiza un tratamiento secundario que consiste en añadir ciertos productos químicos específicos a base de sodio y potasio en el agua de alimentación de las calderas, las que reaccionarán con el material incrustante, formando precipitados de calcio o magnesio, estos precipitados no deben adherirse a las paredes de la caldera, pero en cambio pueden aglutinarse y caer en la parte inferior en la región más fría de la caldera para ser removidos por purga de fondo, y aún permanecer en suspensión para ser removidos por purga continua.

Si el vapor que abandona la caldera es puro, todos los sólidos disueltos o suspendidos en el agua de alimentación y las sustancias agregadas en el tratamiento “ secundario” se acumularán en la caldera y gradualmente se concentrarán, por lo que se debe remover por purga continua.

La purga continua de una caldera es muy importante para el control y tratamiento del agua en el interior del caldero, pues además de remover las precipitaciones de sales incrustadas y químicos específicos añadidos en el tratamiento secundario, remueven

también las sales solubles o minerales que no forman incrustación a bajas concentraciones, pero que pueden causar serios problemas si se concentran.[4]

En la Fig. 6.1 se señala el esquema de las purgas en una caldera común.

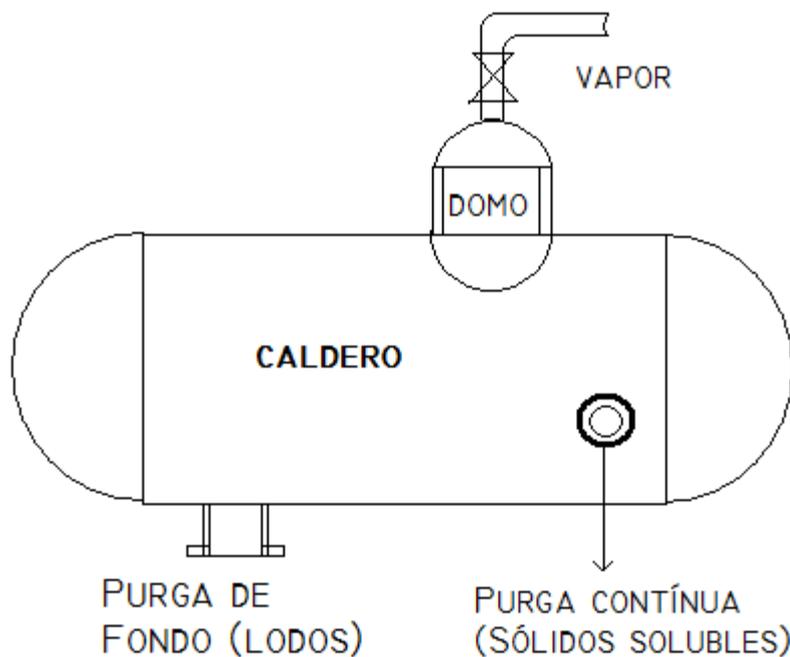


Figura 6.1 Esquema de purgas de una caldera común.

6.2.1 SUAVIZACIÓN INTERNA POR PRODUCTOS QUÍMICOS.

El propósito fundamental de ablandar el agua dentro de la caldera es el de prevenir la formación de incrustaciones, precipitando el calcio y el magnesio en forma de lodos. Al no efectuar tratamiento interno de ablandamiento, el calentamiento y concentración del agua de la caldera causa la precipitación de diferentes compuestos, principalmente aquellos cuya solubilidad disminuye conforme se aumenta la temperatura.

El sulfato, el silicato y carbonato de calcio y el hidróxido y silicato de magnesio, reaccionan todos en esta forma.

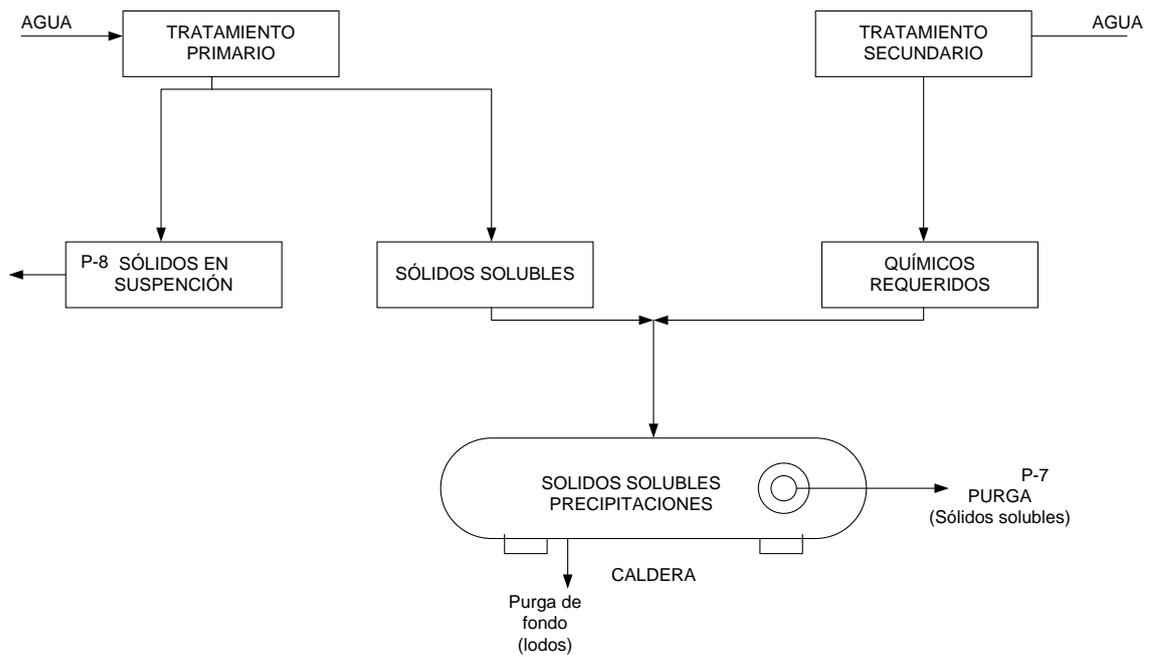


Figura 6.2 Esquema de tratamiento primario y secundario del agua de abastecimiento en calderas.

6.3 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE ALCALINIDAD Y NÚMERO DE PURGAS.

Según los datos analizados en la tabla 1 podemos concluir lo siguiente:

Promedio de ALCALINIDAD OH	de	Promedio de purgas/dia	de N
267,5		4	
210		3	
202,5		2	
200		3	
195		2	
180		2	
165		2	
160		2	
160		2	
160		2	
160		2	
155		2	
154,5		2	
150		2	
150		2	
135		2	

130	2
112,5	2
105	1
95	0

Continuación.

Tabla 6.2 Análisis de datos de Alcalinidad OH vs. Numero de Purgas diarias.

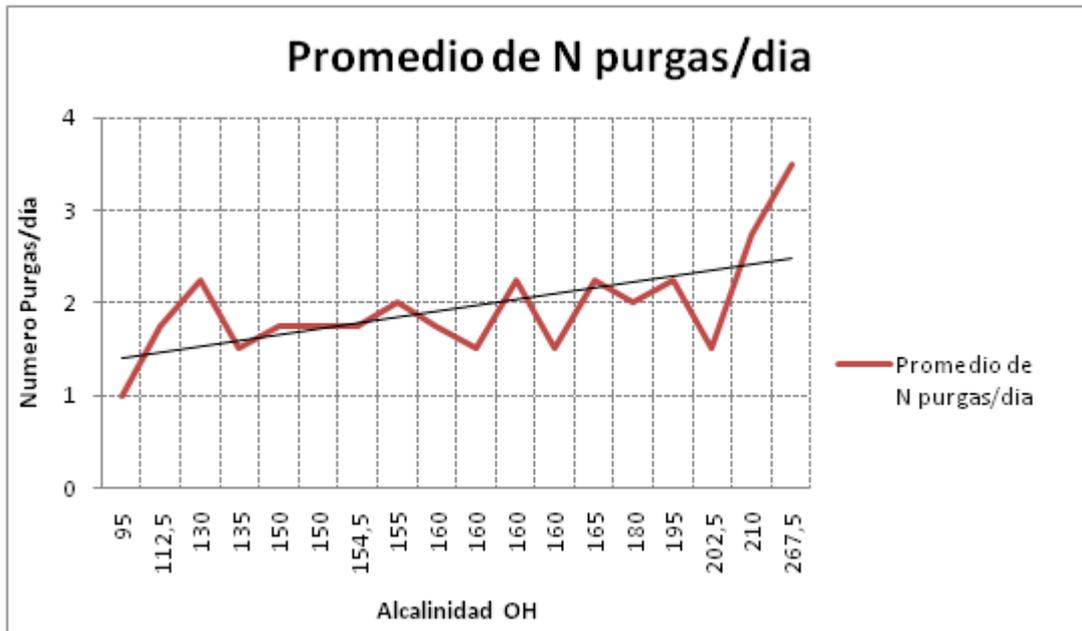


Figura 6.1 Con la ayuda de la gráfica podemos observar que el número de purgas varía directamente proporcional al valor de la alcalinidad OH por lo que podemos sacar los siguientes rangos de purgas:

min		Alcalinidad OH		max	N Purgas
300	<	OH			4
200	<	OH	<	300	3
100	<	OH	<	200	2
50	<	OH	<	100	1
0	<	OH	<	50	0

Tabla 6.3 Límites de Alcalinidad OH vs. Numero de purgas.

6.3.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

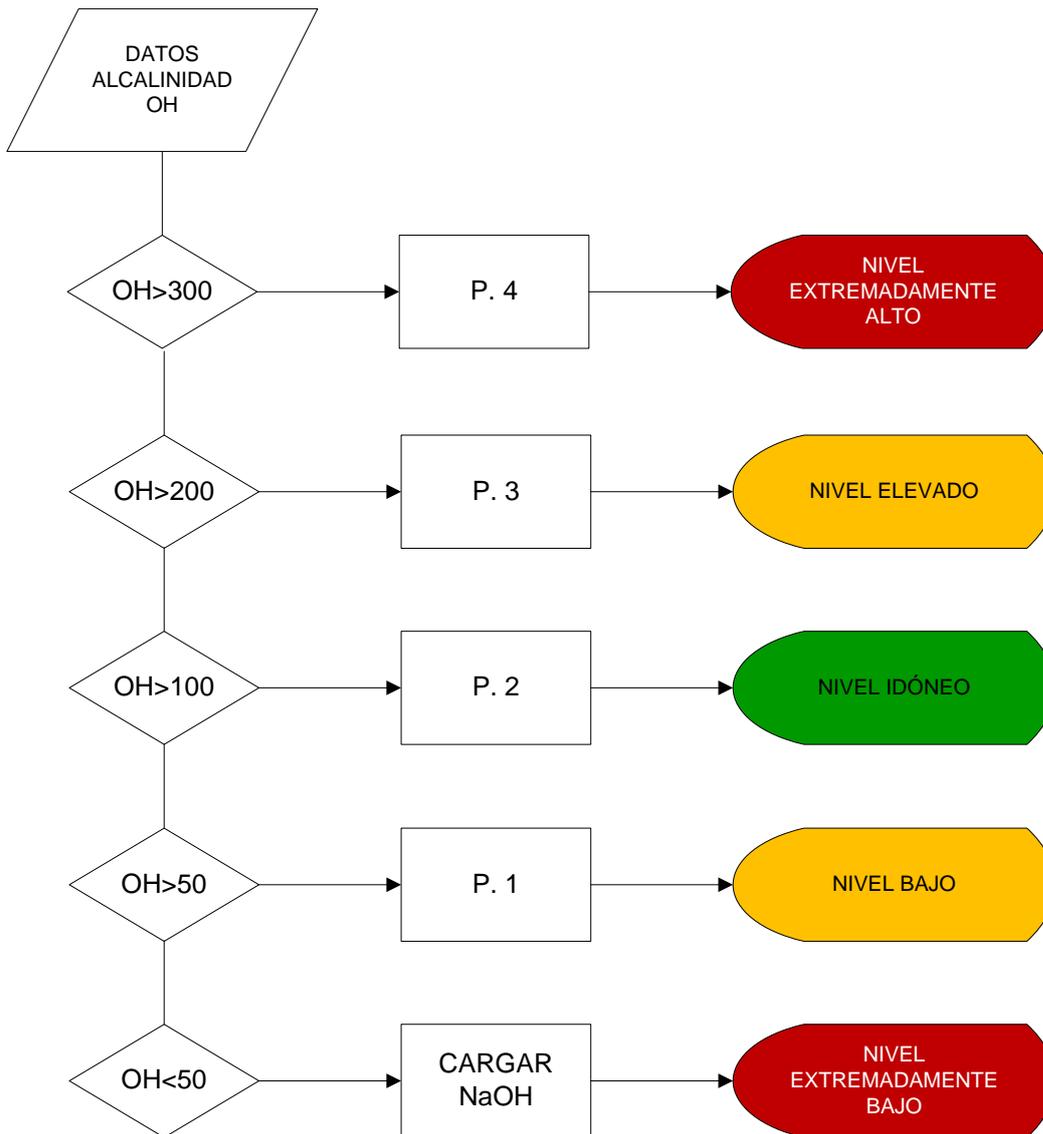


Figura 6.4 **Algoritmo 1.** Indica las acciones a tomar sobre el número de purgas en función del nivel de alcalinidad OH., Cabe recalcar que un nivel muy excesivo es perjudicial al igual que un nivel muy bajo.

6.4 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE SÍLICE Y NÚMERO DE PURGAS.

Se parte del análisis de los datos obtenidos de análisis anteriores mediante la siguiente tabla:

SÍLICE	N purgas/dia	SÍLICE	N purgas/dia
40	1	78,5	2
44,8	2	80,1	3
45,4	2	82,3	3
46,7	2	88	3
48,7	2	91,3	3
49,5	2	95,2	4
50,4	2	95,8	3
51,5	2	102,5	3
56,4	2	103,1	3
58,3	2	105,1	3
60,5	2	109	4
61,4	2	110	4
61,7	2	110	4
62,5	2	110	4
68,6	2	110	4
70,2	2	110	4
75,3	2	110	4
75,4	2	110	4

Tabla 6.4 Análisis de datos de Sílice vs. Numero de Purgas diarias.

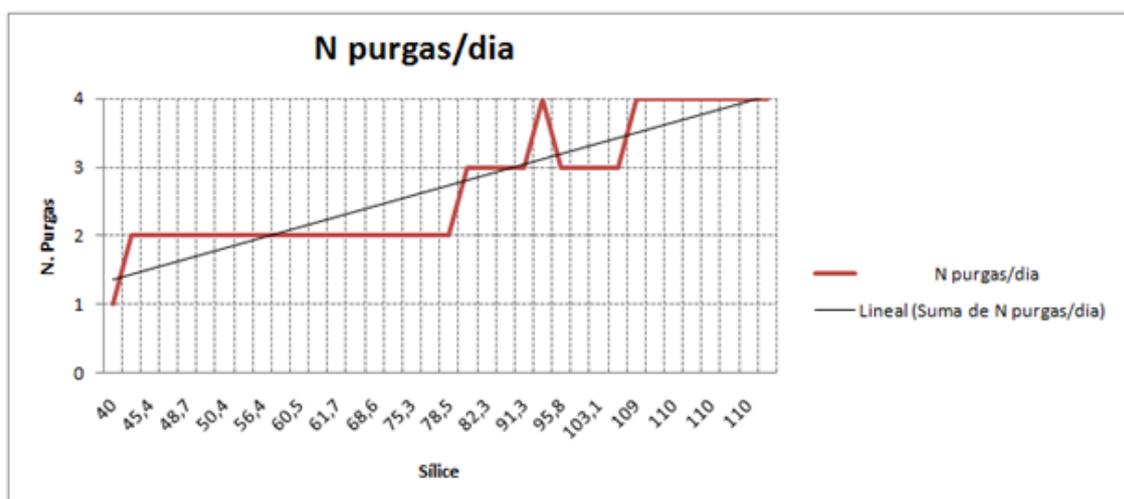


Figura 6.5 Relación entre nivel de sílice y número de purgas.

Analizando la gráfica se puede concluir que el número de purgas es directamente proporcional al nivel de sílice por lo que se puede describir los siguientes límites de sílice correspondientes al número de purgas a aplicarse:

min		silice	Max	N
				purgas
110	<	si		4
90	<	si	< 110	3
75	<	si	< 90	2
40	<	si	< 75	1
0	<	si	< 40	0

Tabla 6.5 *Límites de Sílice vs. Numero de purgas.*

6.4.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

Mediante los límites anteriores se puede realizar el algoritmo de decisión basado únicamente en el nivel de sílice aplicado a los formatos condicionales y al número de purgas

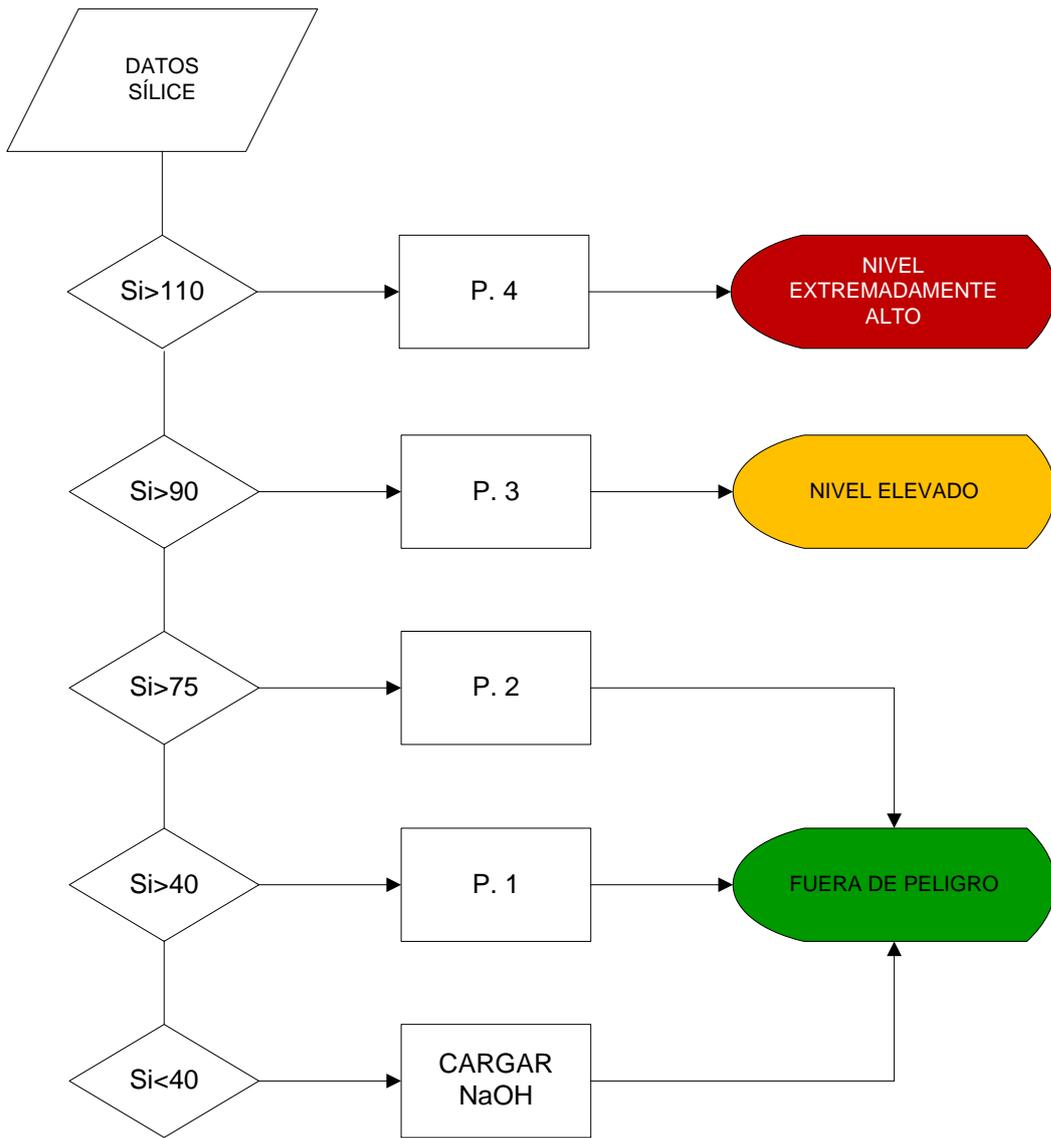


Figura6.6 Algoritmo 2.

6.5 RELACIÓN ENTRE NIVEL DE CONDUCTIVIDAD Y NÚMERO DE PURGAS.

Ahora se realiza el mismo análisis con los datos de conductividad:

CONDUCTIVIDAD		CONDUCTIVIDAD	purgas/dia
	purgas/dia		
350	0	1090	2
430	0	1160	2
460	0	1160	2
470	0	1190	2
470	0	1200	2
520	0	1210	2
610	0	1210	2
620	0	1220	2
620	1	1310	2
740	1	1340	2
750	1	1360	3
770	1	1430	3
840	1	1460	3
860	1	1570	3
960	1	1580	3
970	1	1580	3
970	1	1590	3
980	1	1600	3
990	1	1600	3
1000	1	1740	3
1000	1	1740	3
1000	2	1770	4
1030	2	1840	4
1050	2	1890	4
1070	2	2190	4

Tabla 6.5 *Análisis de datos de Conductividade vs. Numero de Purgas diarias.*

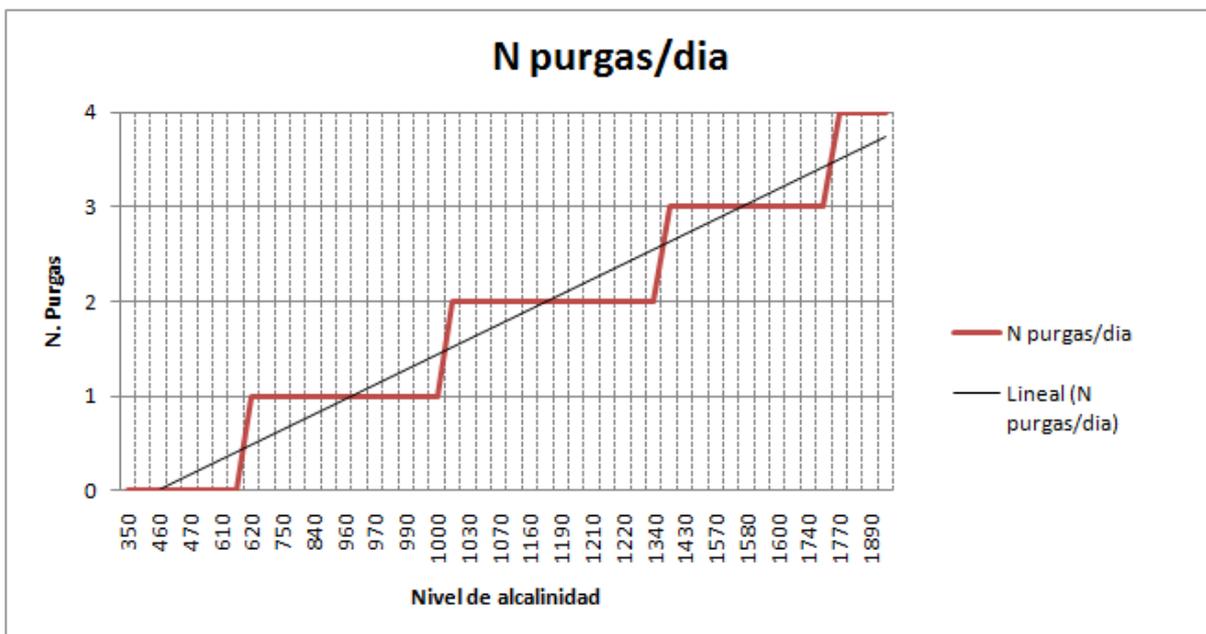


Figura 6.7 Relación entre nivel de conductividad y número de purgas.

Al igual que las graficas anteriores el nnumero de purgas es directamente proporcional al nivel de sílice por lo que se puede imponer los siguientes límites:

min	Conductividad	Max
2000 <	Cond	4
1500 <	Cond	< 2000 3
1000 <	Cond	< 1500 2
500 <	Cond	< 1000 1
0 <	Cond	< 500 0

Tabla 6.6 Límites de Conductividad vs. Numero de purgas.

Un nivel elevado de la conductividad indica directamente que el nivel de sólidos disueltos totales está muy elevado por lo que se debe purgar inmediatamente dependiendo de los valores obtenidos.

6.5.1 DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

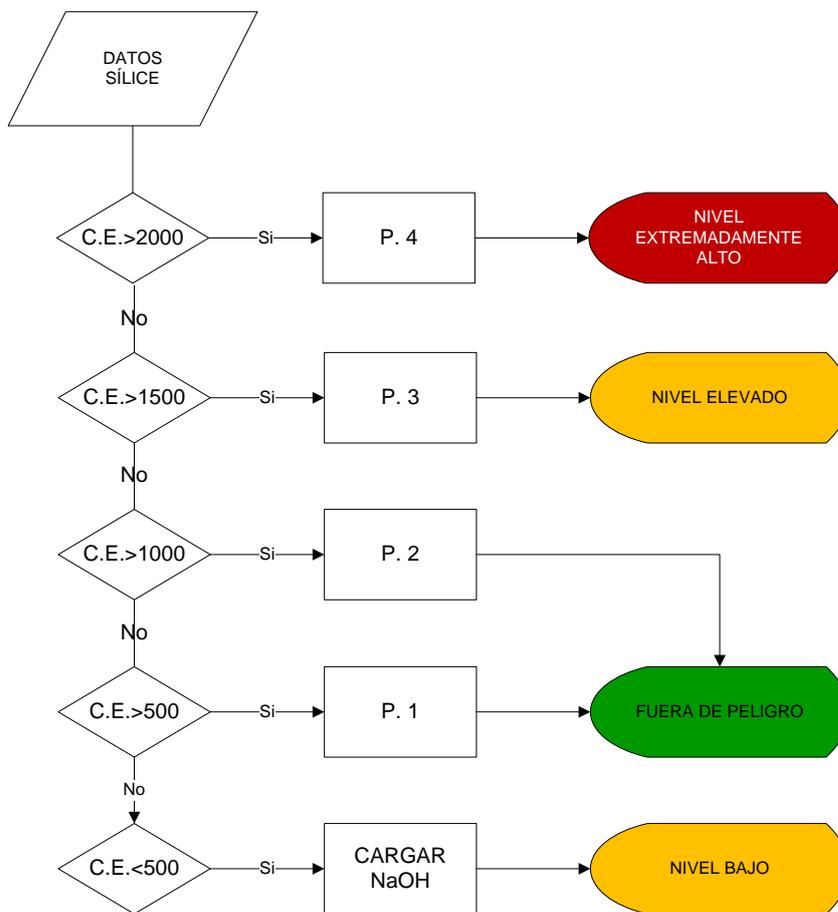


Figura 6.8 Algoritmo 3

Indica el número de purgas a aplicar en función del nivel de conductividad además integra un sistema de semaforización que ayuda a interpretar más fácilmente los datos.

6.6 INTERRELACIÓN ENTRE LOS ALGORITMOS DE DECISIÓN.

El análisis de los algoritmos desarrollados anteriormente se los hace independientemente sin relacionarlos entre si, pero esto significa que no se está tomando decisiones totales en el sistema sino de manera puntual en cada parámetro por lo que a continuación se desarrollará una interrelación:

Para esto tomaremos en cuenta lo siguiente:

- Cada algoritmo señala un número de purgas a aplicarse por lo que se va a tomar el número más alto de purgas entre los tres algoritmos el cual será el que de la pauta general de la decisión a tomar. Esto se lo hace porque se debe tener prioridad en el parámetro con niveles más críticos.
- En cada caldera se debe realizar un análisis independiente con sus respectivos algoritmos de cada parámetro.
- Se debe tener en consideración la relación entre alcalinidad OH vs. Sílice, este índice debe estar de 2 a 3 , valores que han sido recomendados por la Ing. Claudia Espinoza, Consultora de planta de aguas de Cartopel.
- Las acciones a tomar en función del índice OH/Si es el siguiente:

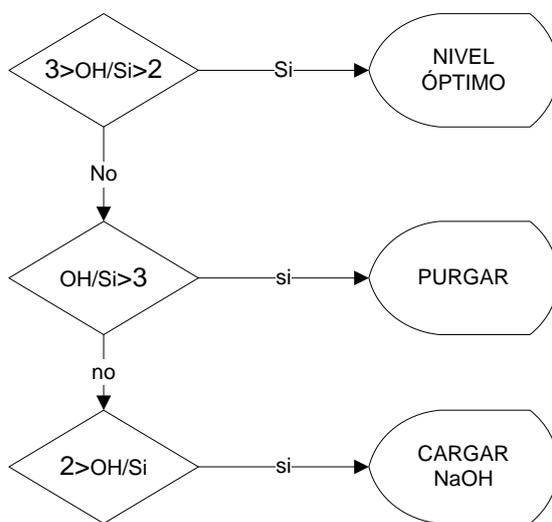


Figura 6.9 Algoritmo 4.

Indica la acción a tomar en la dosificación de los químicos a las calderas que lo requiera.

Ejemplo:

Supongamos que tenemos los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor
silice	91
Conductividad	1420
Alcalinidad OH	180

Aplicamos el algoritmo realizado en Excel que nos da los siguientes valores de purgas:

				Purgas a aplicarse
Sílice		91	N purgas	3
110	< Si		4	
90	< Si	< 110	3	
75	< Si	< 90	2	
40	< Si	< 75	1	
0	< Si	< 40	0	
Conductividad		1420		2
2000	< Cond	<	4	
1500	< Cond	< 2000	3	
1000	< Cond	< 1500	2	
500	< Cond	< 1000	1	
0	< Cond	< 500	0	
Alcalinidad OH		180		2
300	< OH		4	
200	< OH	< 300	3	
100	< OH	< 200	2	
50	< OH	< 100	1	
0	< OH	< 50	0	

Tabla 6.6 Ejemplo

Se elige el número de 3 purgas a aplicarse al día.

Ahora se analiza el índice OH/Si

$$\text{OH/Si} = 180/91 = 1,97 \approx 2$$

Este valor se puede considerar aceptable ya que está próximo a dos, por lo que los que se puede considerar óptimo y no se debe añadir químicos.

6.7 PROGRAMACIÓN DE ALGORITMOS EN EL PANEL PRINCIPAL DE EXCEL.

Luego de haber desarrollado un algoritmo general del sistema se procede a introducirlo a Excel utilizando buscadores, análisis Si, Formatos condicionales dando como resultado un sistema indicador del estado del sistema y de las acciones a tomar:

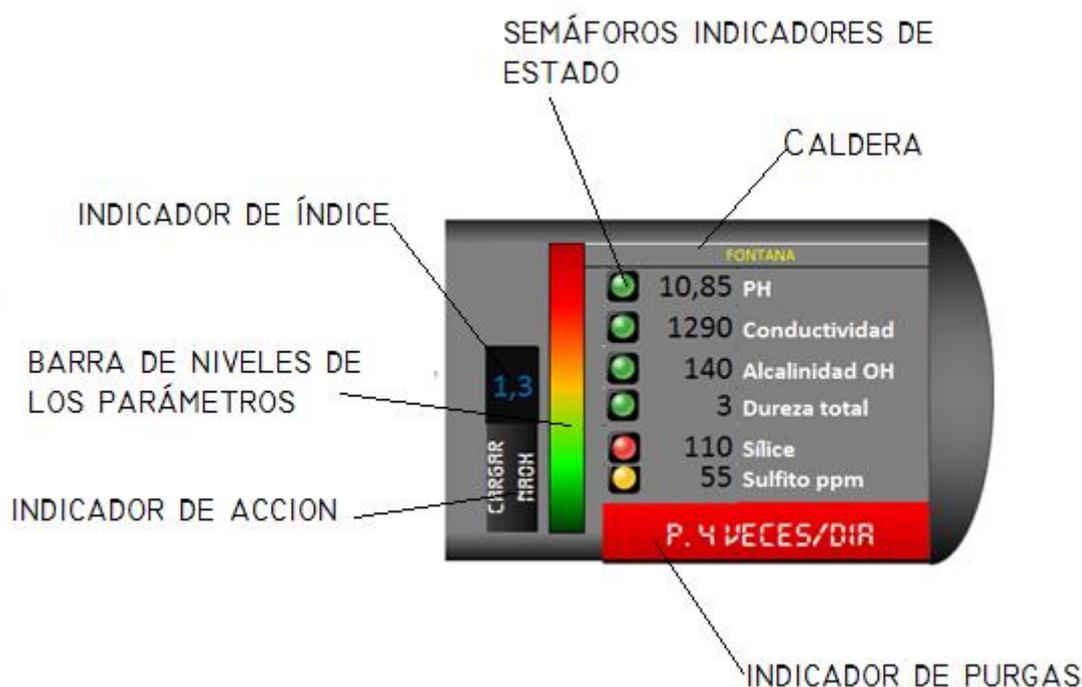
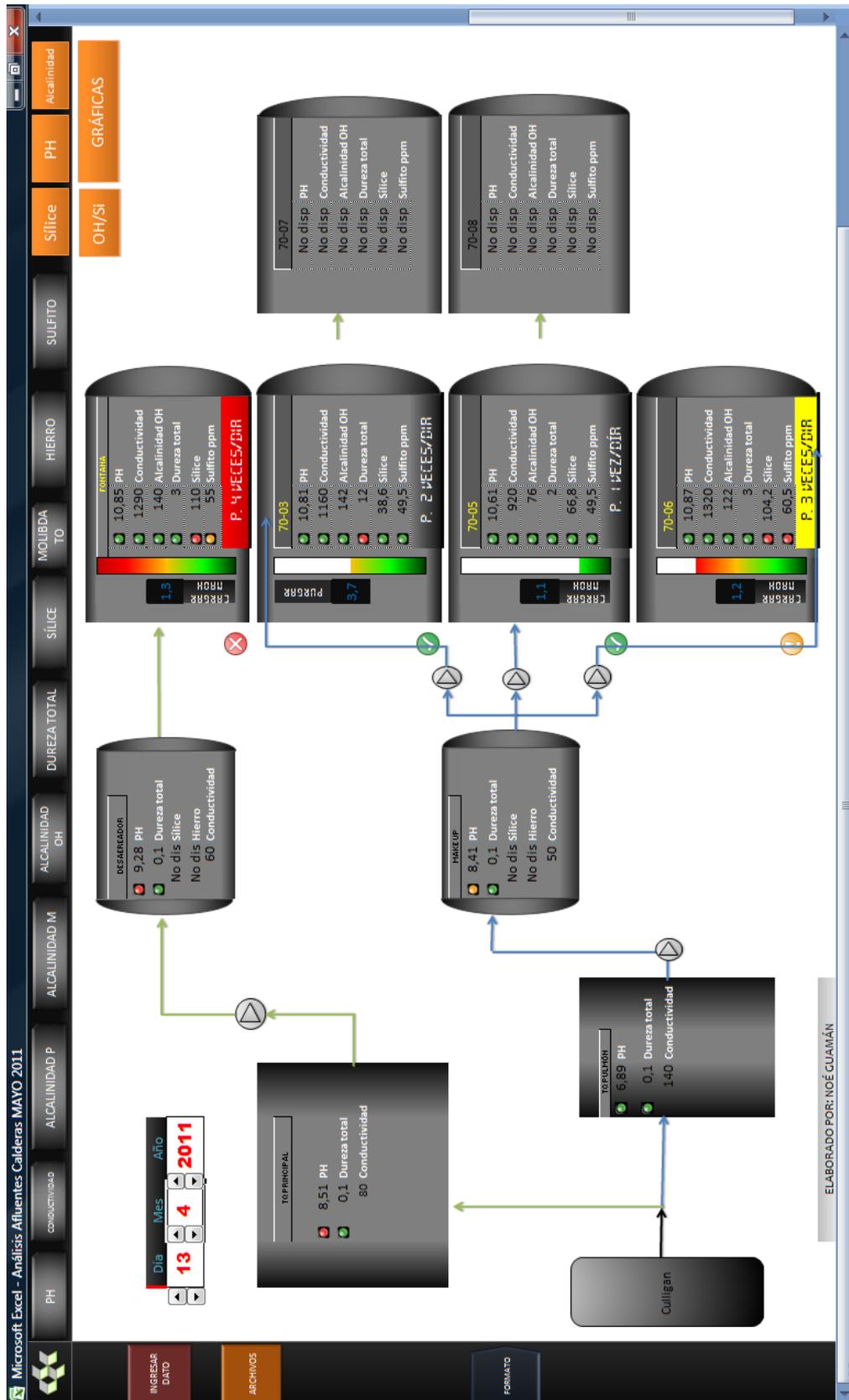


Figura 6.10 Esquema del sistema de representación gráfica de una caldera, sus parámetros, señalización y del sistema decisorio a tomar con respecto a número de purgas y dosificación de químicos.

A continuación en la figura 6.11 se muestra el sistema gráfico final de representación de las calderas en el panel principal del software informático de control de calidad de agua de abastecimiento a calderas de la empresa Cartopel S.A.I.

Figura 6.11 Sistema gráfico final de representación de las calderas



CAPITULO VII

PRUEBAS DE CAMPO Y CONCLUSIONES.

7.1 INTRODUCCIÓN.

Al finalizar el proceso de elaboración del software informático para control de calidad de agua que hemos visto en los capítulos anteriores, es necesario proceder a las pruebas de campo para analizar si el sistema es de utilidad para la toma de decisiones más precisas y eficientes, para esto hay que enfocarse en los siguientes factores:

Personal. El personal debe tener conocimientos básicos en el manejo de utilitarios informáticos.

Se ha realizado una capacitación al personal acerca de la utilización del nuevo sistema a utilizarse.

La curva de aprendizaje del personal ha tenido un tiempo de 1 mes más o menos por la facilidad de la utilización del programa informático.

El personal debe estar comprometido en la correcta utilización de este programa así como a la introducción de datos periódicos además de estar consientes en que la finalidad de esta tesis es facilitar el manejo, interpretación y control de la calidad del agua.

Equipo informático. La empresa debe facilitar la adquisición de los equipos necesarios para la implementación de este software.

Los equipos deben estar adaptados ergonómicamente para la utilización de programa, actualmente las condiciones en las que está funcionando el programa son idóneas .

Hay que poner énfasis en la visualización gráfica del diagrama principal por lo que se ha utilizado una pantalla de alta resolución de de una superficie amplia para evitar problemas visuales.

El software se ha puesto en funcionamiento desde el mes de febrero del 2011, tiempo en el cuál se ha igualado de los datos

desde octubre del 2010 y en la actualidad no ha tenido ningún problema en su estructura.

Políticas de la empresa. Se recomienda a la empresa implementar políticas de almacenamiento de datos en los analistas para evitar que el software quede sin funcionalidad por la falta de introducción de datos.

7.2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS INFORMÁTICOS NECESARIOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA.

Para la implementación del programa se requiere del siguiente equipo básico para su correcto funcionamiento:

- Computador 1Gb Memoria RAM o superior.
- Monitor pantalla plana de 17 in o superior de preferencia.
- Sistema informático Windows XP o superiores.
- Office 2007.
- Antivirus de actualización continua.

Para el respaldo de la información se sugiere las siguientes alternativas:

- a. Conectar el sistema a una red en donde se respalden los datos periódicamente.
- b. Guardar la información en una unidad exterior como una flash memory de forma periódica.
- c. El flujo de información puede ser entre los departamentos de planta de Aguas-Planta de Fuerza y Dpto. técnico.

El siguiente cuadro indica el flujo de información.

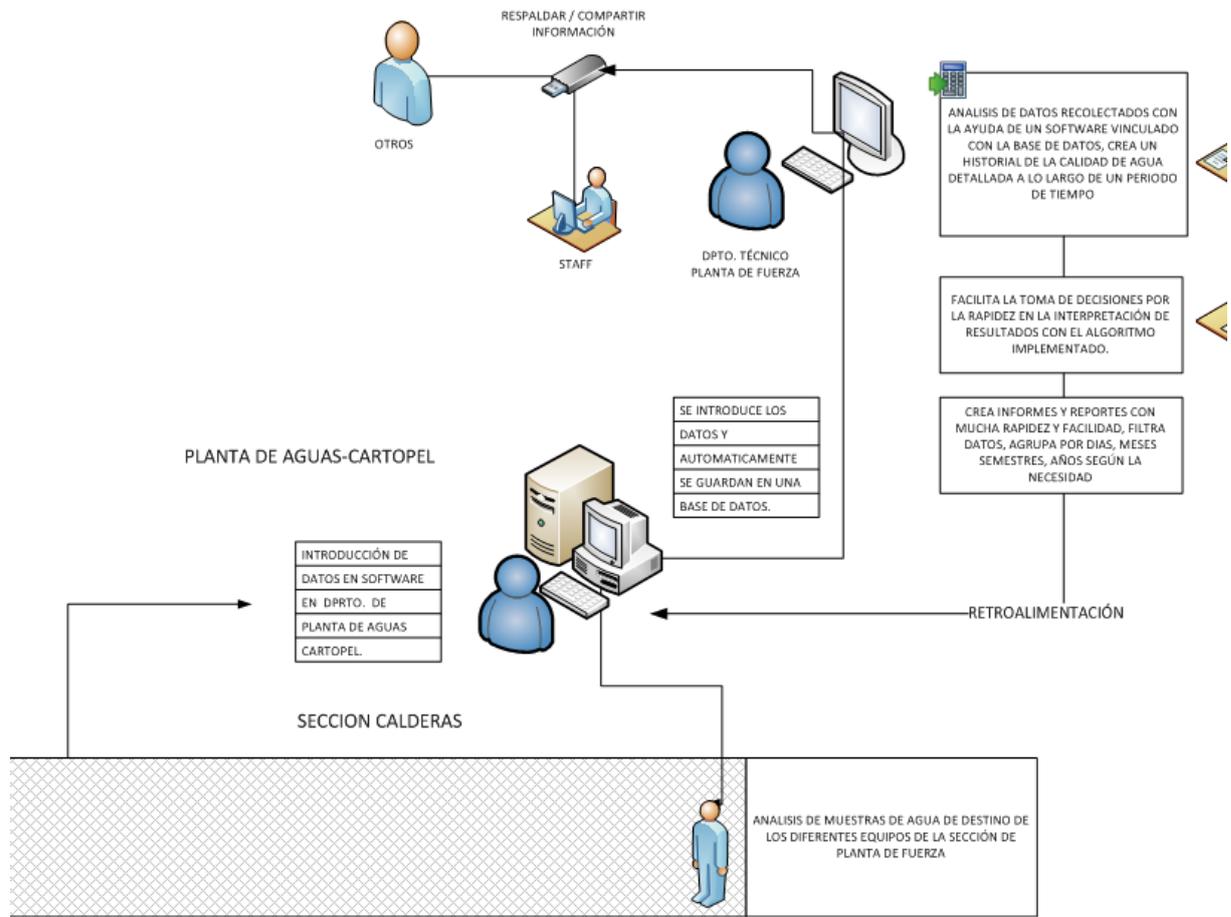


Figura 7.1 Esquema del flujo de información brindada por el software implementado en la empresa Cartope

7.3 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.

La instalación del software es sencilla y está disponible mediante la desactivación del sistema de seguridad de Visual Basic para ingresar la dirección de guardado de los datos. Se ha realizado esta acción para que el software funcione únicamente en el computador destinado a la introducción de los datos y así evitar problemas de plagio y manipulación del sistema.

En el instante que el programa se guarde en una unidad externa, y se quiera introducir en otra empresa o departamento, va a ocurrir un error de programación lo cual garantiza los derechos del autor de esta tesis.

El panel de navegación internet explorer sin conexión del computador facilita el acceso y guardado del programa.



Figura 7.2 *Sistema informático implementado y funcionando desde el mes de febrero del 2011*

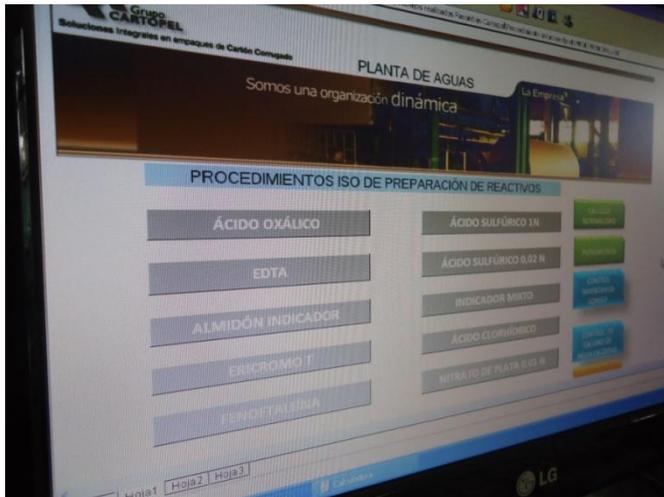


Figura 7.3 *Esquema del navegador de internet explorer de acceso al programa informático de control de calidad de agua además de brindar acceso a otras aplicaciones realizadas en las prácticas profesionales.*



Figura 7.4 *Sistema implementado*

7.4 ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL.

Se ha realizado la capacitación del personal en el mes de febrero del 2011 en los temas de:

- Explicación de sistemas de información.
- Introducción de los datos.
- Análisis de Datos.
- Generación de reportes.
- Toma de decisiones.
- Manejo de tablas dinámicas.

Esta capacitación se la dio a todo el personal de planta de Fuerza-Cartopel.

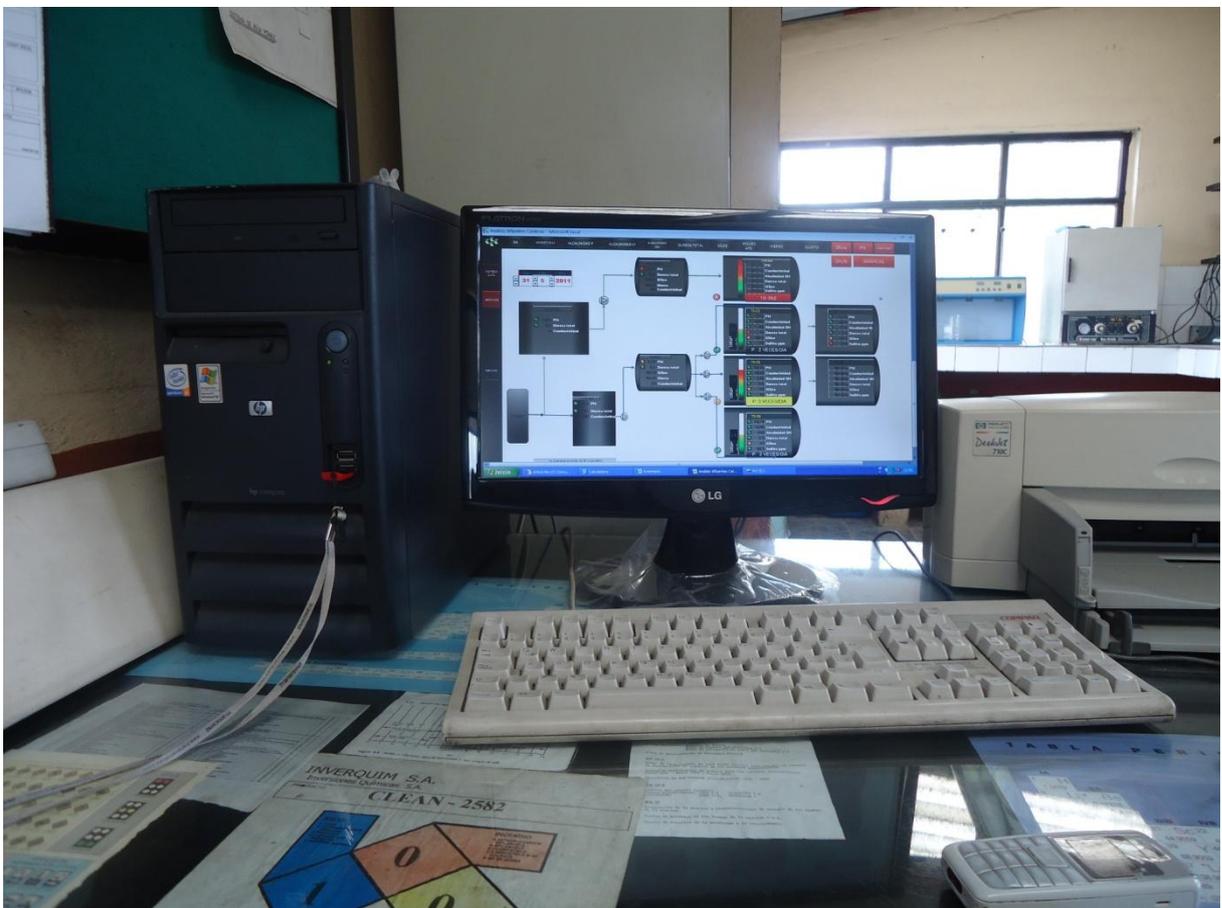


Figura 7.5 Sistema implementado, los analistas ya se han familiarizado con el software y el sistema de decisión acerca de las purgas ha sido un éxito en este departamento.

7.5 CONCLUSIONES.

La realización de esta tesis estaba enfocada en la necesidad de un sistema de información práctico, ágil, versátil y económico que permita el alcanzar un proceso de toma de decisiones más precisa y eficiente garantizando así la mantención y correcto funcionamiento de las calderas.

La implementación de un sistema de señalización del estado del sistema de calidad de agua a partir de semáforos utilizados en la herramienta informática Microsoft Excel ha sido un cambio muy importante en el departamento de planta de Aguas-Cartopel, ya que se ha cambiado la concepción que se tenía en el control de calidad y la toma de decisiones que se ha llevado mediante una metodología empírica; ahora mediante la sistematización del proceso de toma de decisiones, se ha logrado reducir la probabilidad de daño de las calderas , al tener una visualización global y a la vez detallada de cada parámetro del sistema de abastecimiento de agua ya la vez la acción que se debe tomar.

El tener datos puntuales de una cierta fecha significa que no se tiene una clara apreciación de la evolución del sistema por lo que se requiere tener un sistema de información basado en datos continuos de ciertos periodos de tiempo de cada uno de los parámetros y así tener una curva que me indique la tendencia del estado y evolución del sistema de control de calidad de Calderas-Cartopel.

Al poseer un sistema de toma de decisiones se baja favorablemente los niveles de sílice y de otros parámetros en un periodo de tiempo más corto como se puede apreciar en el historial en comparación con los niveles en las fechas anteriores a la implementación del sistema informático por lo que la hipótesis planteada al inicio ha sido corroborada con los resultados obtenidos.



Figura 7.6 Curva de control antes de la implementación.

Antes: Los niveles altos de sílice permanecían durante largos periodos de tiempo, bajaban drásticamente y luego volvían a subir .



Figura 7.6 Curva de control después de la implementación.

Ahora: Los niveles de sílice se mantienen dentro del rango, hay días que se elevan pero se corrigen rápidamente.

Además de controlar el parámetro más crítico que en este caso son los niveles de sílice, se ha logrado tener un control global del sistema, de cada parámetro y de cada equipo de almacenamiento de agua así como el control de las calderas en lo que respecta a calidad de agua.

Finalmente se ha implementado un sistema de toma de decisiones en lo que respecta dosificación de químicos en las calderas por lo que se puede decir que mediante el desarrollo de esta tesis se ha logrado conseguir mejorar el control de calidad de agua destinadas al consumo de Calderas pertenecientes a la Compañía Cartopel.



7.6 RECOMENDACIONES.

Se recomienda tener una bomba dosificadora de químicos para cada caldera ya que como se puede apreciar en el interfaz gráfico, las necesidades de una caldera no es el mismo que las otras por lo que las decisiones a tomar se las hace independientemente de cada caldera con lo que respecta a las purgas así como la dosificación de Na OH; la dosificación al Make Up es muy general ya la necesidad de dosificación de químicos de una caldera puede elevar los parámetros de otra por estar interconectadas al mismo dosificador.

Con lo que respecta al almacenamiento de datos se recomienda implementar un sistema de red con un servidor que respalde los datos periódicamente, para esto se requiere que se haga una conexión a internet al computador de la planta de Aguas de Cartopel. Esto garantizará la seguridad en el almacenamiento de datos en una base confiable.

Este sistema es de uso exclusivo para el personal de planta de fuerza de Cartopel, por lo que no se puede adaptar a otro sistema de análisis de datos; para eso se recomienda destinar un solo computador para la introducción de datos.

En el computador destinado para el funcionamiento del programa debe estar fuera de toda amenaza informática así como física para lo cual se recomienda proteger todo el departamento con antivirus, control de acceso al computador, claves de encendido, reguladores de voltaje, etc.

Si no se opta por la implementación del sistema de red informática, se sugiere respaldar la información de forma periódica en una unidad externa que puede ser en una flash memory.

Se recomienda tener un acceso remoto al sistema para poder visualizar el estado del sistema desde cualquier computador de la empresa.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Revista ,ECUATORIANA DE PETROLEOS CIA LTDA.
- [2] ARBOLEDA VALENCIA Jorge, “Teoría y práctica de la purificación del agua”. 1ra ed; Gainesville, Florida: Editorial ACODAL, 1992.Pag. 1 en adelante.
- [3] <http://arturobola.tripod.com/glosa.htm>
- [4]. Genaro F. Benitez A. & Manuel E. Contreras V. “Análisis matemático para el control de concentración de sólidos totales disueltos en el agua de un caldero utilizando agua de los ríos de Cuenca”; Monografía.1986.
- [5] LAWRENCE KOHAN Anthony “Manual de calderas, Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimiento y normativas”. Vol. 2. Aravaca (Madrid), España: McGraw-Hill/interamericana de España, 2000. Pag. 721 en adelante.
- [6] <http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad11.PDF>
- [7] <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>
- [8] http://www.madrimasd.org/experimentawiki/feria/Tratamientos_de_coagulación
- [9]. <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf> Ing. Luis E. Pérez Farrá, “TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN” Agosto 2005
- [10] FLOW-GUARD Productos para filtración. FILTROS DE GRAVA Y ARENA VERTICALES. “Manual de instalación y operación”
- [11] ARNULFO Oelker Behn THERMAL ENGINEERING LTDA. Santiago, Chile
- [12] MANUAL DE OPERACIÓN & MANTENIMIENTO EQUIPO: NST de Venezuela.



ANEXOS.

ANEXO 1.

- Anexo 1. En el documento anterior se detalla los procedimientos para realizar los análisis de laboratorio de la calidad de agua del sistema de abastecimiento de agua a las Calderas Cartopel.



	PROCEDIMIENTO INTERNO PLANTA DE AGUAS	Código: PA-AA002
	ANÁLISIS DE AFUENTES ANÁLISIS DE DUREZA, AALCALINIDAD, PH, CONDUCTIVIDAD	Rev. Nº: Hoja 2 de 5

5, 6, 7, 8, 9.- DESCRIPCION DE LA INSTRUCCIÓN, NOTAS COMPLEMENTARIAS, DOCUMENTOS ASOCIADOS, REGISTROS GENERADOS, RESPONSABLES

5.- DESCRIPCION DE LA INSTRUCCIÓN	6.-Notas Complement.	7.- Documentos asociados	8.-Registros generados	9.-Responsables																											
<p>1: Normas de Seguridad</p> <p>Disponer de los equipos necesarios de protección como gafas, mascarilla, extractor de gases.</p> <p>2. Equipos a utilizar</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Capacidad</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Erlenmeyer</td> <td>200 ml</td> <td>1 x cada muestra</td> </tr> <tr> <td>Gotero</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Probeta</td> <td>100 ml</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Bureta</td> <td>50 ml</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">REACTIVOS</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Cant.</th> <th>Observ.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ericromo T</td> <td style="text-align: center;">aprox 6 gotas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Buffer dureza</td> <td style="text-align: center;">aprox 1 ml</td> <td style="text-align: center;">Buffer PH 10</td> </tr> <tr> <td>EDTA</td> <td style="text-align: center;">50 ml.</td> <td style="text-align: center;">disp. en bureta</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. OPERACIÓN</p> <p style="text-align: center;">PASO 1</p> <p>Tomar muestras de agua a analizar con un tarro marcado de 3/4 de volumen aproximadamente.</p> <p style="text-align: center;">PASO 2</p> <p>Medimos PH con el phmetro directamente en cada muestra y anotamos directamente en PA 04 correspondiente cada muestra.</p> <p style="text-align: center;">PASO 3</p> <p style="text-align: center;">CONDUCTIVIDAD</p>	Descripción	Capacidad	Cantidad	Erlenmeyer	200 ml	1 x cada muestra	Gotero		1	Probeta	100 ml	1	Bureta	50 ml	1	Descripción	Cant.	Observ.	Ericromo T	aprox 6 gotas		Buffer dureza	aprox 1 ml	Buffer PH 10	EDTA	50 ml.	disp. en bureta				
Descripción	Capacidad	Cantidad																													
Erlenmeyer	200 ml	1 x cada muestra																													
Gotero		1																													
Probeta	100 ml	1																													
Bureta	50 ml	1																													
Descripción	Cant.	Observ.																													
Ericromo T	aprox 6 gotas																														
Buffer dureza	aprox 1 ml	Buffer PH 10																													
EDTA	50 ml.	disp. en bureta																													
			Hoja de control diario formato PA05	Analista de aguas																											



<p>Medimos la conductividad en el conductímetro directamente en los tarros de muestras y anotamos el valor medido multiplicándolo x 1000 en PA 04</p>			<p>Hoja de control diario formato PA05</p>	<p>Analista de aguas</p>
<p style="text-align: center;">DUREZA</p> <p style="text-align: center;">PASO 4</p> <p>Ahora vamos a trabajar con una muestra en adelante, medimos 50 ml de la muestra con una probeta y la vaciamos en un erlenmeyer de 200 ml.</p>				<p>Analista de aguas</p>
<p style="text-align: center;">DUREZA</p> <p style="text-align: center;">PASO 5</p> <p>Medimos 1 ml. De buffer de dureza PH 10 con un gotero y añadimos a la muestra que está en el erlenmeyer</p>	<p>1 ml. Bufer de dureza</p>			<p>Analista de aguas</p>
<p style="text-align: center;">DUREZA</p> <p style="text-align: center;">PASO 6</p> <p>Añadimos 4-6 gotas de ERICROMO T entonces la muestra se tornará de un color dependiendo de si tiene o no dureza: Azul rojizo--> Tiene dureza Azul marino--> No tiene dureza se anota 0,1 directamente</p>	<p>5-7 gotas de Ericromo T</p>			<p>Analista de aguas</p>
<p style="text-align: center;">DUREZA</p> <p style="text-align: center;">PASO 7</p> <p>Si tiene dureza adicionamos el regulador EDTA; se encera la bureta, se adiciona EDTA de gota en gota agitando el erlenmeyer al mismo tiempo hasta que el color se torne de un azul marino obscuro.</p>	<p>EDTA</p>			
<p style="text-align: center;">DUREZA</p> <p style="text-align: center;">PASO 8</p> <p>Se toma la medición en la bureta de cuanto EDTA adicionamos y anotamos directamente en el registro PA 05</p>			<p>Registro PA 05</p>	<p>Analista de aguas</p>
<p style="text-align: center;">PASO 9</p> <p>Al termino de la medición hay que lavar bien los erlenmeyer y desechar las muestras. Repetimos el procedimiento para las otras muestras,</p>				
<p>ALCALINIDAD</p>				



REACTIVOS					
Descripción	Cant.	Observ.			
Fenofaleína	1 gota				
Indicador Mixto	1 gota				
Ácido Sulfúrico 0,02 N	aprox 50 ml	H2SO4 0,02N			
Medir 50 ml de la muestra con una probeta y la trasladar a un erlenmeyer de 200 ml.					Analista de aguas
<p align="center">PASO 1</p> Añadimos 1 gota de FENOFTALEÍNA a la muestra, entonces se tornará de un color rosado.			1 gota Fenofaleína		Analista de aguas
<p align="center">PASO 2</p> Enceramos la bureta y adicionamos H2SO4 0,02 N a la muestra en pequeñas cantidades agitándolo al mismo tiempo hasta que el color rosado desaparezca y se torne incolora.			H2SO4 0,02N		
<p align="center">PASO 3</p> Medimos la cantidad de H2SO4 consumido en la bureta y anotamos en el programa HOJA DE PRUEBAS celda D12, <u>sin encerar la bureta</u> procedemos a adicionar 1 gota de INDICADOR MIXTO en la muestra.					
<p align="center">PASO 4</p> La muestra se tornará de un color azul oscuro, entonces empezamos a adicionar H2SO4 de la bureta, a partir de la medición anterior sin encerar, agitando el erlenmeyer al mismo tiempo hasta que cambie de color y se torne verde oscuro.					Analista de aguas
<p align="center">PASO 5</p>					



<p>Una vez que haya cambiado de color anotamos la segunda medición en el programa HOJA DE RUEBAS celda E12</p>				<p>Analista de aguas</p>								
<p>PASO 6 Anotamos los resultado del cálculo de la HOJA DE PRUEBAS: Alcalinidad P =Celda D12 Alcalinidad M= Celda D13 Alcalinidad total= Celda E14</p>			<p>Registro PA 05</p>	<p>Analista de aguas</p>								
<p>PASO 7 Se lava bien los recipientes y se repite el proceso para cada muestra.</p>				<p>Analista de aguas</p>								
<p>4. Conclusiones y recomendaciones Al final de este análisis se habrá medido el PH, conductividad, Dureza y Alcalinidad presente en el agua; tomando en cuenta que estas mediciones deben estar dentro del rango aceptable para cada caso.</p>												
<p>Si no se encuentran bajo el rango se debe realizar las siguientes operaciones</p>												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Caso</th> <th>Acción.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nivel alto dureza</td> <td>Regenerar los culligan.</td> </tr> <tr> <td>Nivel bajo de PH</td> <td>Agregar sosa caústica al caldero</td> </tr> <tr> <td>Nivel bajo de alcalinidad</td> <td>Agregar sosa caústica al caldero</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tener en cuenta que si se agrega mucha cantidad de sosa caustica el nivel de sílice va a incrementarse por lo que se procedería a purgar las calderas.</p>	Caso	Acción.	Nivel alto dureza	Regenerar los culligan.	Nivel bajo de PH	Agregar sosa caústica al caldero	Nivel bajo de alcalinidad	Agregar sosa caústica al caldero				
Caso	Acción.											
Nivel alto dureza	Regenerar los culligan.											
Nivel bajo de PH	Agregar sosa caústica al caldero											
Nivel bajo de alcalinidad	Agregar sosa caústica al caldero											
<p>Elaboró: Noé Guamán Fecha: 10 / 11 /2010</p>	<p>Revisó: Oscar Gordillo Fecha: 10 / 11 /2010</p>		<p>Aprobó: Oscar Gordillo Fecha: 10 / 11 /2010</p>									



Anexo 2: Formato de la hoja de control diario utilizado en la planta de aguas de la Empresa Cartopel

ANALISIS QUIMICO TANQUES DE AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS											
ANALISIS H2O ALIMENTACION CALDERAS		CONDENSADOS CALDERAS		CONDENSADOS CALDERAS		CONDENSADOS CALDERAS		CONDENSADOS CALDERAS		CONDENSADOS CALDERAS	
H2O FILT	TQ PUL	TQ MAKE UP	ORBITEC	STG GRP	VAPOR SAT	CARTOPEL	ORBITEC	STG GRP	VAPOR SAT	70-06	70-05
TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS	TORNOS
HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA
PARAMETRO ALIMENTACION											
pH	6.5 A 9		7.5 A 9		10.5 A 11.5		max 2500				
CONDUCTIVIDAD umhos/cm											
ALCALINIDAD P (ppm CaCO3)											
ALCALINIDAD M (ppm CaCO3)											
ALCALINIDAD OH (ppm CaCO3)											
DUREZA TOTAL (ppm CaCO3)											
SILICE (ppm SiO2)											
MOLIBDATO (ppm)											
HIERRO (ppm Fe)											
SULFITO (ppm SO3-)											
TURBIDEZ FTU											
CICLOS DE CONCENTRACION											
OTROS											
OTROS											

ANALISIS TANQUE AGUA ALIMENTACION VAPOR Y CONDENSADO TURBINA DE LA CALDERA FONTANA											
TQ PRINC		DEAREADOR		VAP SATURADO		CALDERA 70-04		CALDERA 70-04		CALDERA 70-04	
HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA
PARAMETRO CALDERAS											
pH	6.5 A 9		8 A 9		10.5 A 11.5		max 2500				
CONDUCTIVIDAD umhos/cm											
ALCALINIDAD P (ppm CaCO3)											
ALCALINIDAD M (ppm CaCO3)											
ALCALINIDAD OH (ppm CaCO3)											
DUREZA TOTAL (ppm CaCO3)											
SILICE (ppm SiO2)											
HIERRO (ppm Fe)											
SULFITO (ppm SO3-)											
TURBIDEZ FTU											
MOLIBDATO (ppm)											
CICLOS DE CONCENTRACION											