



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CERRADO DEL
AGUA DE ENFRIAMIENTO UTILIZADA EN LAS MAQUINAS DE
INYECCIÓN Y SOPLADO DE PLÁSTICOS DE
LA EMPRESA MAGGIE PAUL, C.A**

Tutor académico:
Prof. Olga Martínez

Tutor industrial:
Ing. Orlando Ojeda

Autores:
Djukich, María
C.I: 16.290.555
Sandoval, Everis
C.I: 17.776.031

Valencia, Octubre de 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CERRADO DEL
AGUA DE ENFRIAMIENTO UTILIZADA EN LAS MAQUINAS DE
INYECCIÓN Y SOPLADO DE PLÁSTICOS DE
LA EMPRESA MAGGIE PAUL, C.A**

*Trabajo Especial de Grado presentado a la ilustre Universidad de Carabobo para optar
al Título de Ingeniero Químico*

Tutor académico:
Prof. Olga Martínez

Tutor industrial:
Ing. Orlando Ojeda

Autores:
Djukich, María
C.I: 16.290.555
Sandoval, Everis
C.I: 17.776.031

Valencia, Octubre de 2010



DEDICATORIA

Dedico este trabajo inicialmente **a Dios** por darme su amor infinito y la fortaleza necesaria para vivir intensamente cada día.

A mis padres, María Olga y Nicolás, por mostrarme el camino a seguir y darme los mejores consejos para formarme como persona, los AMO.

A mis hermanos, Gaby, Nina y Gabriel, por saber comprenderme y apoyarme en cada momento.

A mi familia, por ser lo más grande que tengo y el ejemplo más cercano y bonito de unión, porque sin duda alguna son el mejor ejemplo a seguir, a mis tíos **Alberto, Martha, Soraya y Salvador** por ser mis segundos padres, a mis primos por ser como mis hermanos y en especial a mi abuela por el gran amor que brinda día a día.

A mi segunda Mamá, Doris por sus consejos, apoyo, comprensión y amor infinito que me ha brindado desde el día que nací.

A mi amigo Harold, por ser la persona más bella e incondicional que conocí a lo largo de mi carrera y por representar en mi vida esa luz cuando los fracasos se hicieron presentes. Gracias amigo este triunfo también es tuyo.

A mi novio Eduardo, por ser mí mejor aliado, por comprenderme y apoyarme en cada momento celebrando junto a mí cada triunfo y prestándome su hombro para llorar por los fracasos, porque sin duda alguna, sin ti este triunfo no hubiese sido posible. Te AMO.

A mi tutora académica, Olga Martínez, por ser un ejemplo a seguir y por brindarme su amistad en todo momento pero sobre todo por soportar todas mis quejas cuando algún obstáculo se hizo presente en el desarrollo académico de mi carrera.

María Djukich



DEDICATORIA

A Dios, por ser mi luz y guía, por protegerme y darme todas las cosas maravillosas que tengo, mi hogar, mi familia, mis amigos.

A mis padres, Migdalia y Luis por darme su apoyo incondicional, en los momentos más difíciles cuando las cosas salían mal, con sus palabras de aliento y fuerza lograron que siguiera y no recayera nuevamente, lo cual se los agradezco enormemente. Por su amor y sus valiosos consejos que servirán en mi crecimiento personal y harán de mi una excelente profesional. Esto es por ustedes, los amo.

A mis hermanos, Victor y Ronald, por su cariño y apoyo, por soportarme en mis momentos de mal humor, por todo lo que compartimos y seguiremos compartiendo. Los quiero muchísimo.

A mi tío Jaime y a mi tía Nancy, que son mis segundos padres, a mis primos y demás familiares, gracias a todos por seguirme a través de mi carrera, por su apoyo y su cariño. Por sus bendiciones y todos sus buenos deseos. Que Dios los proteja y los bendiga.

A mis compañeros y amigos de la universidad, Alejandra, Angélica, Mariaisabel, Claudia, Daniela, Sheila, Wazir, Harold, Ronald, Eliasib, por los buenos momentos que compartimos en la carrera, dándonos apoyo y palabras de aliento en las entregas de notas finales. A todos por ser un excelente grupo de estudio y espero que en mi camino siga teniéndolos a mi lado.

Finalmente **a mi compañera en esta tesis Maria Djukich**, gracias por aparecer tarde o temprano, durante una experiencia más que única, por sus consejos y estar ahí en altos y bajos durante este tiempo. ¡Ya somos Ingenieros Químicos!

Everis Sandoval



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecemos a Dios todo poderoso por darnos la vida y permitimos gozar de las maravillas de este mundo, brindándonos su luz bendita para culminar con éxito todos nuestros logros.

A nuestros padres por darnos todo el apoyo y comprensión en las pruebas que nos ofrece la vida y su infinita dedicación en darnos la fortaleza para formarnos como persona y cumplir nuestras metas, los amamos son nuestro mayor orgullo.

A nuestros hermanos y demás familiares porque siempre nos ofrecieron su ayuda a lo largo del desarrollo de nuestra carrera universitaria.

A nuestros amigos y compañeros de clase porque junto a todos ustedes compartimos los recuerdos más bonitos de nuestra vida universitaria y con ayuda de ustedes nos levantamos en cada fracaso obtenido, gracias por escucharnos, apoyarnos y comprendernos durante estos años.

A todos nuestros profesores que nos brindaron su valioso conocimiento y amistad en nuestra casa universitaria, estamos orgullosas de ustedes. Gracias y mil gracias por tener la voluntad de enseñarnos para poder lograr nuestras metas.

A nuestra tutora, Olga Martínez por brindarnos sus conocimientos y sabios consejos los cuales fueron las bases que forjaron la culminación de este proyecto. Mil gracias por habernos brindado la oportunidad de poder terminar con éxito nuestra carrera universitaria y así poder gozar de un futuro estable.

A los Ingenieros Iván Parra y Tony Espinoza por su ayuda incondicional en el desarrollo de este proyecto, quienes con sus amplios conocimientos y experiencias nos permitieron optar por el título universitario.

A la empresa Maggie Paul C.A., por permitirnos desarrollar este proyecto en sus instalaciones. Especialmente agradecemos a Yolimar Ruiz, Melissa Hernández y José Ortega, por brindarnos su apoyo y conocimientos en todo momento, ya que



gracias a sus experiencias logramos superar los obstáculos que se nos presentaron en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Orlando Ojeda, nuestro tutor industrial, por ayudarnos y proponernos el tema de este trabajo especial de grado y por brindarnos todas las herramientas necesarias para el desarrollo del mismo, además de los buenos consejos que nos brindó para forjarnos como excelentes ingenieros en un futuro, muchas gracias.

A los Ingenieros Jon Aguinaco y Deivis Battes por la colaboración para el desarrollo de este proyecto, quienes en todo momento nos guiaron con sus conocimientos y nos brindaron su amistad, gracias.

A todos los que de alguna manera colaboraron con nuestro trabajo y nos apoyaron en la culminación de nuestra carrera universitaria, a todos MUCHAS GRACIAS.



RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo especial de grado fue realizar una “Propuesta de mejora al sistema cerrado del agua de enfriamiento utilizada en las máquinas de inyección y soplado de plásticos de la empresa Maggie Paul, C.A.

La metodología empleada se basa inicialmente en un reconocimiento de los factores que de alguna u otra manera influyen en la problemática existente, mediante el uso de un diagrama causa-efecto, para así determinar las variables de mayor impacto sobre la calidad de agua de enfriamiento utilizada en el proceso. Posteriormente, se analizaron los resultados de la caracterización del agua a través de manuales, decretos y requerimientos de planta, con la finalidad de identificar los parámetros fisicoquímicos que se encontraban fuera de rango. Luego, se establecieron las propuestas de mejora para la problemática existente actualmente en planta, basadas en el análisis de los factores más influyentes conjuntamente con los resultados obtenidos en la caracterización. Seguidamente, mediante una matriz de selección donde se evaluaron diferentes criterios se eligió la propuesta más adecuada. Finalmente, se evaluó la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada, con la finalidad de verificar si es factible o no su implementación.

Entre los resultados y conclusiones más importantes de la investigación, se tiene que los canales de enfriamiento de los moldes de las máquinas de inyección y de soplado, presentaban incrustaciones de sólidos blancos, principalmente ocasionadas por la precipitación de las sales de calcio y magnesio. Además la alta dosificación de químicos aumentó los valores de pH, conductividad y total de sólidos disueltos, así como también promovió la formación de espuma en el sistema de enfriamiento. Esto condujo a un ajuste en la dosificación de los químicos, el cual correspondió a 5 L/semana de anticorrosivo y 2 L/semana de desinfectante. La propuesta seleccionada comprendió un control manual del sistema actual del pretratamiento del agua de proceso. Para la cual, la relación de costo-beneficio resultó igual a 5,56 Adim, lo que indicó que los beneficios obtenidos son 5 veces mayor a los costos involucrados para la inversión inicial, por lo que resulta factible la implementación en la empresa.

Palabras claves: control manual, incrustaciones y químicos.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	
1.1 Descripción del problema.	3
1.2 Formulación del problema.	8
1.2.1 Situación actual.	8
1.2.2 Situación deseada.	9
1.3 Objetivos.	9
1.3.1 Objetivo general.	9
1.3.2 Objetivos específicos.	10
1.4 Justificación.	10
1.5 Limitaciones.	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	
2.1 Antecedentes.	12
2.2 Bases teóricas.	15
2.2.1 Tipos de agua.	15
2.2.2 Calidad del agua.	16
2.2.3 Problemas que se presentan en sistemas de enfriamiento.	16
2.2.4 Problemas ocasionados por la dureza del agua en equipos de Intercambio térmico	24
2.2.5 Sistemas de filtración y remoción de partículas sólidas del agua	25



	Pág.
2.2.5.1 Tipos de filtros	26
2.2.6 Productos químicos para el pretratamiento de las aguas	29
2.2.7 Sistemas de ablandamiento de agua	31
2.2.8 Descripción y características de los materiales	34
2.2.9 Moldeo por inyección	37
2.2.10 Moldeo por soplado	39
2.2.11 Sistemas de enfriamiento de recirculación cerrada	42
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
3.1 Descripción general	45
3.2 Proceso de moldeo por inyección	46
3.2.1 Alimentación de la materia prima	47
3.2.2 Unidad de inyección	47
3.2.3 Unidad de moldeo	47
3.3 Proceso de moldeo por soplado	48
3.3.1 Alimentación de la materia prima	49
3.3.2 Unidad de cierre o moldeo	49
3.4. Sistema de enfriamiento	50
3.4.1. Sistema de enfriamiento cerrado	50
3.4.2. Zona de pretratamiento existente para el agua cruda del proceso	52
3.4.2.1 En condiciones de operación	54
3.4.2.2 Procedimiento para llevar a cabo la limpieza y enjuague de los filtros y el suavizador, así como también la regeneración de la resina.	57



	Pág.
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.	
4.1 Tipo de investigación.	59
4.2 Procedimiento de la investigación.	60
4.2.1 Identificación las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua.	60
4.2.2 Caracterización fisicoquímicamente el agua de enfriamiento.	63
4.2.3 Establecimiento de las alternativas que permitan el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio	68
4.2.4 Selección de la alternativa más adecuada que permita reducir costos y proveer el mejor índice de beneficios en el desempeño del sistema.	69
4.2.5 Determinación de la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada	72
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	
5.1 Identificar las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua.	75
5.2 Caracterizar fisicoquímicamente el agua de enfriamiento	86
5.3. Establecer alternativas que permitan el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio	104
5.4. Seleccionar la alternativa más adecuada que permita reducir costos y proveer el mejor índice de beneficios en el desempeño del sistema.	116
5.5. Determinar la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada.	120



	Pág.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
Conclusiones.	124
Recomendaciones.	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	127
APÉNDICE A: NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES	132
APÉNDICE B: TABLAS DE RESULTADOS .	139
APÉNDICE C: FORMATOS DE MANTENIMIENTO Y CONTROL OPERATIVO	144
APÉNDICE D: ANÁLISIS REALIZADOS POR EL PROVEEDOR QUE INSTALÓ EL SISTEMA DE PRETRATAMIENTOS	169
ANEXOS	176



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
2.1. Resumen de interpretación del índice de Langelier	22
2.2. Resumen de interpretación del índice de Ryznar.	22
2.3. Iones encontrados en aguas crudas.	32
4.1. Matriz de selección del equipo	65
4.2. Matriz de selección del kit de dureza total	65
4.3 Métodos aplicados para los análisis fisicoquímicos al agua de la empresa Maggie Paul C.A., en distintos meses del año	67
4.4. Matriz de selección de criterios incluyendo los valores de la calificación de los criterios	71
5.1. Análisis fisicoquímicos del agua	86
5.2. Límites permisibles de la calidad del agua en normas internacionales	87
5.3. Comparación de los valores estándar establecidos con los análisis fisicoquímicos realizador en diciembre por el laboratorio Hidrolab	88
5.4. Características de los diferentes equipos multifuncionales	90
5.5. Características de los kit de dureza total con diferentes proveedores	90
5.6. Matriz de selección del equipo	91
5.7. Matriz de selección del kit de dureza total	92
5.8. Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta	93
5.9. Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta	94
5.10. Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta	95



	Pág.
5.11. Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta	102
5.12. Características de los químicos para la protección del sistema de enfriamiento por dos proveedores	111
5.13. Especificaciones del suavizador controlado por una válvula automática	114
5.14. Matriz de selección de las propuestas planteadas	117
5.15. Inversión inicial de la propuesta seleccionada	121
5.16. Costos asociados al sistema actual y al sistema propuesto	122
A.1. Clasificación de las aguas	132
A.2. Límites máximos de los parámetros fisicoquímicos del agua sub-tipo 1A y 1B	133
A.3. Continuación de los límites máximos de los parámetros fisicoquímicos del agua Sub-tipo 1B	134
A.4. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de dureza	135
A.5. Valores recomendables de los parámetros fisicoquímicos del agua	136
A.6. Límites permisibles de las características químicas del agua	137
A.7. Continuación de los límites permisibles de las características químicas del agua	138
B.1. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el mes de enero	140
B.2. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el mes de febrero	141
B.3. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el mes de marzo	142



	Pág.
B.4. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el mes de abril	143
D.1. Análisis fisicoquímicos del sistema de enfriamiento del mes de octubre de 2008	169
D.2. Análisis fisicoquímicos del sistema de enfriamiento del mes de febrero de 2009	170
D.3. Análisis fisicoquímicos del sistema de enfriamiento del mes de octubre de 2009	171
D.4. Análisis fisicoquímicos del sistema de enfriamiento de diciembre de 2009, realizados por Hidrolab	171
D.5. Análisis fisicoquímicos del agua cruda en el mes de marzo de 2010, realizados por Hidrolab	172
D.6. Análisis fisicoquímicos del agua suavizada en el mes de marzo de 2010, realizados por Hidrolab	173
D.7. Análisis fisicoquímicos del agua a la entrada de los enfriadores en el mes de marzo de 2010, realizados por Hidrolab	174



	Pág.
1.1. Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento del agua	6
2.1. Grafica de agotamiento del filtro de carbón activado	28
2.2. Detalle de las esferas de resina de intercambio iónico	32
2.3. Partes fundamentales de la máquina de inyección	38
2.4. Proceso general de una máquina de soplado	41
2.5. Ciclo de Carnot de un enfriador	43
2.6. Funcionamiento general de un enfriador	44
3.1. Máquina de moldeo por inyección	46
3.2. Funcionamiento general de la máquina de soplado	48
3.3. Funcionamiento general de un enfriador	51
3.4. Diagrama de instrumentación y tuberías del sistema de pretratamiento	53
4.1. Partes de un diagrama causa-efecto	61
5.1. Diagrama causa-efecto	77
5.2. Sistema dosificador de químicos instalado en Maggie Paul, C.A.	81
5.3. Espuma desbordada en el tanque de almacenamiento 2	96
5.4. Espuma en la purga del tanque de almacenamiento 2	96
5.5. Monitoreo del pH durante los meses de enero y abril	98
5.6. Monitoreo del total de sólidos disueltos durante los meses de enero y abril	99
5.7. Monitoreo de la conductividad durante los meses de enero y abril	99
5.8. Variación de los ciclos de concentración durante los meses de enero y abril	100



	Pág.
5.9. Dimensiones de la tapa para el tanque de almacenamiento 2	109
5.10. Funcionamiento del suavizador controlado por una válvula automática	114
5.11. Diagrama de tuberías e instrumentación de la zona de pretratamiento instalada en planta, en el cual se señala la ubicación de	116
C.1 Diagrama de instrumentación y tuberías del sistema de pretratamiento	149



INTRODUCCIÓN

Los envases plásticos son uno de los productos de mayor producción a nivel mundial, por su gran versatilidad y gran producción. Hoy día en el mundo, el plástico se ha fabricado con la finalidad de satisfacer las necesidades del hombre en la vida cotidiana que en siglos anteriores no se podía realizar.

El proceso de moldeado por inyección y soplado para la producción de plásticos, inicia con la alimentación de un polímero granulado que es sometido a un proceso térmico en el cual pasa a estado líquido; luego se transfiere el plástico a los moldes por cuyos canales se hace circular agua fría que permite la solidificación del mismo mediante transferencia de calor.

La operación del sistema de agua de enfriamiento tiene un impacto profundo en la química del agua puesto que esta influye en el potencial de corrosión, incrustaciones y ensuciamiento en el sistema. Por ello, es necesario realizar análisis que permitan evaluar la calidad del agua de proceso.

La estructura de esta investigación está constituida por cinco capítulos. En el capítulo I, se da a conocer el problema en estudio, especificándose su propósito, la situación actual y deseada, así como el objetivo general y los específicos de la investigación. De igual forma se presentan las razones que justifican la investigación, las limitaciones y el alcance de la misma. Posteriormente se encuentra el capítulo II, en el mismo se recopilan los antecedentes y la información teórica necesaria para llevar a cabo la solución de cada uno de los objetivos a desarrollar en el trabajo especial de grado, seguidamente en el capítulo III, se presenta de manera detallada el proceso de moldeo por inyección y soplado, así como también el sistema de enfriamiento existente en la planta. Luego, en el capítulo IV, se presenta el tipo de investigación a desarrollar, así como los procedimientos utilizados para el logro de los objetivos planteados. Después, en el capítulo V se muestran, los resultados obtenidos en cada objetivo de la investigación, así como el análisis detallado de los mismos y finalmente se relatan las conclusiones y las



recomendaciones a las que se llegaron con el desarrollo de este trabajo especial de grado.

La empresa Maggie Paul C.A., en virtud de la problemática concerniente a la formación de incrustaciones en los canales de los moldes de las máquinas de inyección y soplado y a lo largo de todo el sistema de enfriamiento, requiere la culminación de este trabajo especial de grado para optar por una propuesta para el mejoramiento del sistema cerrado del agua de enfriamiento utilizada en la planta.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la siguiente sección se plantea y describe la problemática, objeto de la investigación a realizar, inicialmente se hace una descripción del problema que se va a estudiar, posteriormente se reseña la situación actual y se define la deseada. Así mismo se refieren los objetivos general y específicos, luego se realiza la justificación en donde se plasma el propósito de la investigación y finalmente se mencionan las limitaciones que restringen el estudio a efectuar.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En julio de 1985, Maggie Paul comienza a operar como fabricante de envases y tapas plásticas, especialmente para la industria de alimentos y que ahora ha ampliado a las industrias de cosméticos, de limpieza y de lubricantes. Su ubicación estratégica, le permite atender a las principales empresas envasadoras que están instaladas en el eje industrial del centro del país, con gran puntualidad en sus entregas.

Desde sus inicios, Maggie Paul ha utilizado tecnología italiana para la fabricación de sus productos, con lo cual ha obtenido excelentes resultados en la calidad de los mismos y el mantenimiento de una mejora continua en sus procesos. Todo lo anterior (solvencia, ubicación, tecnología, calidad y puntualidad) han colocado a la empresa en el camino seguro a su posicionamiento en el mercado, como una de las mejores fabricantes de envases y tapas plásticas en el centro del país.

Para el proceso de moldeado por inyección y soplado, se requiere de la circulación del agua de enfriamiento a través de los canales de los moldes, con el fin mantener un rango de temperatura idónea entre (8-10) °C para soplado y (12-14) °C para inyección y de esta manera llevar a cabo la fabricación de la pieza con la calidad deseada, ya que de un buen enfriamiento dependerá la estabilidad



dimensional y la contracción que experimenta el producto después de haber sido moldeado. Así como también se requiere de la circulación del agua de enfriamiento por la garganta de alimentación de la tolva, pines de soplado, cabezales de soplado e intercambiadores de calor, entre otros, para así evitar el recalentamiento de dichas partes.

Hoy en día el sistema de enfriamiento cerrado del agua se encuentra operativo pero presenta problemas de calidad de agua, especialmente notable en los canales de los moldes de las máquinas, ya que se han venido observando incrustaciones en los mismos, originando obstrucciones en las galerías internas. Así como también, existe la presencia de corrosión en las tuberías a lo largo del sistema, en los enfriadores y en los intercambiadores de calor, generándose así una disminución el flujo de agua de enfriamiento y ocasionando interferencias en la transferencia de calor, debido a que dichas incrustaciones actúan como una resistencia térmica y por ende, disminuye la eficiencia del sistema.

El sistema de enfriamiento tal como se observa en la figura 1.1, consta de una primera fase en donde el agua cruda es tomada de un tanque de almacenamiento 1, al cual se alimenta agua proveniente de Hidrocentro, pasa por un tratamiento previo, el cual consta de tres etapas: un filtro de arena, para eliminar los sólidos suspendidos del agua, un filtro de carbón activado, para eliminar olor, color y compuestos orgánicos el cual actúa como un catalizador, en donde el cloro presente en el agua se transforma en ácido clorhídrico por medio de una reacción catalítica y finalmente un suavizador, el cual es una resina de intercambio catiónico fuerte, cuya función es eliminar dureza del agua generada por la precipitación de los cationes calcio y magnesio. Luego, el agua ya tratada es almacenada en el tanque de almacenamiento 2, al cual se le agrega un antiincrustante-anticorrosivo para proteger las superficies metálicas del proceso de degradación llamado corrosión, previniendo la precipitación de las sales de calcio y magnesio. De igual manera, se adiciona un desinfectante, el cual produce una acción biocida contra bacterias, hongos y levaduras, impidiendo el desarrollo de resistencia por parte de los microorganismos.



El agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento 2, es alimentada a cuatro enfriadores conectados en paralelo, de los cuales se surte el agua fría para alimentar a las máquinas de inyección y de soplado que se encuentran en la planta. Posteriormente, esta agua es recirculada al tanque de almacenamiento 2 para de esta manera culminar el proceso con un sistema de enfriamiento cerrado.

Cuando el agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento 2 disminuye su nivel debido a pérdidas en el recorrido del sistema cerrado de enfriamiento, ya sea por posibles fugas o bien por evaporación, se alimenta nuevamente agua proveniente de Hidrocentro, la cual es, previamente tratada, haciendo pasar a dicha agua por el proceso de pretratamiento, es decir, a través de un filtro de arena, luego por un filtro de carbón activado y finalmente por un suavizador o resina de intercambio catiónico, tal como fue descrito anteriormente. La existencia de un flotante conectado en el tanque activa inmediatamente la entrada del agua al sistema para evitar el desabastecimiento de dicho servicio industrial, lo que acarrearía daños irreparables en las máquinas y/o equipos presentes en planta.

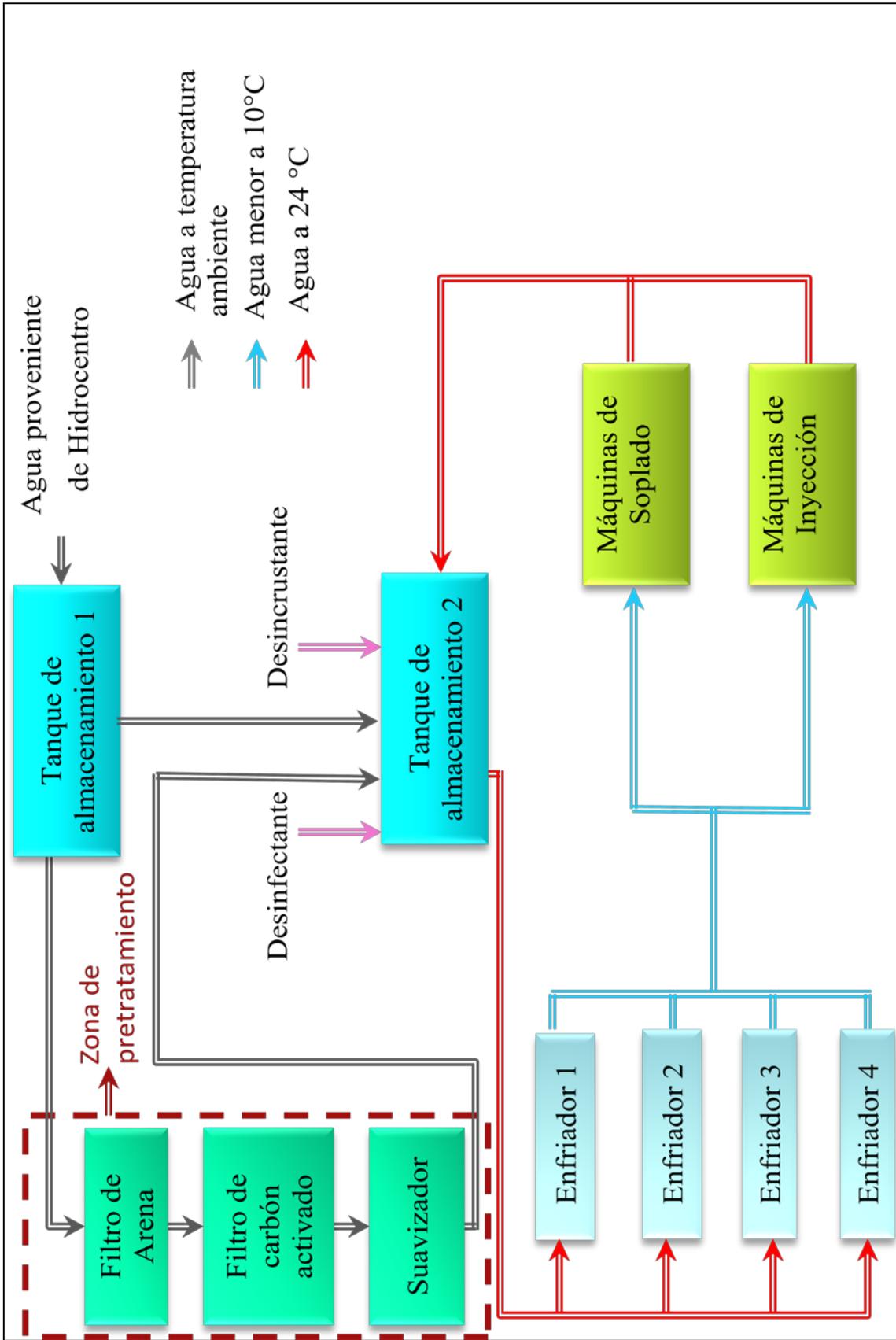


Figura 1.1 Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento del agua.



Dentro del contexto general en el sistema cerrado de enfriamiento de agua existen dos problemas, que inciden en la calidad del agua empleada; el primero se refiere a las incrustaciones presentes en los canales de los moldes de los productos a ser fabricado, tanto por inyección como por soplado y a su vez la corrosión y deposición de los productos de corrosión que se acumulan en el sistema, ocasionando así deficiencia en el enfriamiento de los moldes, lo que repercute directamente en la calidad de la formación de la pieza. Esto a su vez disminuye el tiempo de vida útil de los moldes y equipos, incurriendo además en costos asociados por las paradas y mantenimientos realizados.

El segundo problema existente pero no menos importante, es el aumento progresivo del consumo de los químicos (anticorrosivo y desinfectante), utilizados para mejorar la calidad del agua de enfriamiento, generando mayores gastos a la empresa. Esto se debe a que el agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento 2 proviene de Hidrocentro, sin pasar por los equipos existentes en planta para el pretratamiento de agua cruda. Sin embargo, a pesar que se han realizado varias purgas de 1000 L cada una, ya que no se puede realizar el vaciado por completo de dicho tanque debido a que la planta trabaja continuamente, los valores de algunos parámetros fisicoquímicos del agua de proceso tales como: pH, conductividad, total de sólidos disueltos, entre otros, aún se encuentran fuera de los estándares establecidos por la Gaceta Oficial n° 5022 según el Decreto n° 883, lo que ha traído como consecuencia reajustes por parte del proveedor de éstos productos en la dosificación de dichos químicos, que han permitido disminuir los valores antes mencionados. Aunque, es necesario destacar que se observa abundante espuma en la parte superior del tanque de almacenamiento 2 y que dicha espuma se incrementa a medida que se ha aumentado la dosificación del desinfectante. Además, se observó que cuando no se adicionaron estos químicos al agua de proceso, durante un periodo de tres semanas aproximadamente, los parámetros fisicoquímicos antes mencionados disminuyeron acercándose cada vez más a lo estipulado por la norma, sin presencia de espuma.

Esta situación es altamente perjudicial y requiere ser solventada, por medio del mejoramiento de los equipos de pretratamiento, e incluso, en caso de ser necesario,



la incorporación de nuevos equipos que permitan reducir la dureza del agua cruda empleada en el proceso y eliminar las incrustaciones presentes en los canales de los moldes. Paralelamente a esto, se requiere minimizar el uso de químicos para el ajuste de la calidad del agua de enfriamiento del sistema.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la planta se encuentra operando, pero se ha visto influenciado el proceso de enfriamiento del agua, ya que se han presentado incrustaciones en los canales de los moldes de las máquinas de inyección y soplado, corrosión en las tuberías del sistema de enfriamiento y en los enfriadores; es por ello que se han invertido sumas significativas de dinero debido a los costos asociados por las paradas y mantenimientos realizados y además, por el alto consumo de químicos usados, tales como un antiincrustante-anticorrosivo y un desinfectante, con la finalidad de obtener una mejor calidad del agua.

Tomando en cuenta esta situación, se ha generado una gran inquietud por parte de la empresa en tener propuestas que permitan documentar, analizar y evaluar modificaciones para el mejoramiento del sistema cerrado del agua de enfriamiento, así como también la proposición de un nuevo sistema de pretratamiento de agua cruda que permita la reducción de la dureza de la misma al nivel exigido por el proceso.

Para el correcto funcionamiento actual y futuro del sistema cerrado de enfriamiento del agua se requiere, de un monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos del agua y del mantenimiento de los equipos del pretratamiento, que aseguren la calidad de este servicio industrial, a fin de evitar daños a equipos y fallas en el proceso.

1.2.1 Situación actual

Hoy en día la empresa no cuenta con los equipos necesarios para realizar un monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos del agua de enfriamiento, pero



se han realizado análisis mensuales por parte de un laboratorio fuera de la empresa, obteniendo como resultado que el tratamiento del agua no está siendo efectivo, debido a los valores de dichos parámetros fuera de los valores exigidos por el proceso.

El sistema de enfriamiento del agua se ha visto influenciado por la dureza de la misma, ya que se han presentado incrustaciones en los canales de enfriamiento de los moldes de las máquinas de soplado y de inyección, así como también la existencia de corrosión en los equipos del sistema, lo que ha traído como consecuencia una disminución en la eficiencia del proceso para la formación del producto. Debido a esto, se generan paradas en donde se realiza el desmontaje de moldes disminuyendo su tiempo de vida útil, incurriendo así en los costos asociados por paradas y mantenimientos realizados.

1.2.2 Situación deseada

Maggie Paul C.A. requiere disponer de una evaluación del sistema de enfriamiento del agua, que permita eliminar las incrustaciones presentes en los canales de los moldes y a su vez la corrosión existente en las tuberías a lo largo del sistema. Por medio de la cual se establecerá una alternativa viable y factible, para de esta manera reducir los incrementos de costos asociados a los gastos operativos; y que a su vez se garantice el servicio requerido en cuanto a la calidad del agua cruda de la cual se alimenta el sistema de enfriamiento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar propuestas para el mejoramiento del sistema cerrado del agua de enfriamiento utilizada en las máquinas de inyección y soplado de plásticos de la empresa Maggie Paul, C.A.



1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua.
- ✓ Caracterizar fisicoquímicamente el agua de enfriamiento.
- ✓ Establecer alternativas que permitan el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio.
- ✓ Seleccionar la alternativa más adecuada que permita reducir costos y proveer el mejor índice de beneficios en el desempeño del sistema.
- ✓ Determinar la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La elaboración de una evaluación al sistema de enfriamiento de las máquinas de plástico de la Industria Maggie Paul, C.A. se considera de gran importancia, ya que gracias a ella se tendrá conocimiento de las condiciones bajo las cuales está operando el sistema y se podrá optimizar el mismo, lo que trae como consecuencia una mejora en la producción de la planta.

La empresa puede verse favorecida, desde el punto de vista de utilidad con la realización de esta evaluación, ya que de ser implantada, se mejorará el sistema de enfriamiento cerrado tomando en consideración el buen funcionamiento del tratamiento previo del agua, debido a que se tendrá un constante monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de la misma; las máquinas tendrán un mejor funcionamiento puesto que dejarán de formarse las incrustaciones en los canales de los moldes, aumentando así, la eficiencia del proceso y a su vez del producto final; así como también se podrá hacer un uso más adecuado de todos los equipos que se encuentran en el sistema, disminuyendo así los gastos operativos y de mantenimiento, lográndose de esta manera un mejoramiento en todo el sistema de enfriamiento del agua.



Entre las implicaciones prácticas, la investigación permitirá solucionar una situación real como es la ineficiencia del sistema de enfriamiento de la planta que permita disminuir costos en la mayoría de los ámbitos concernientes a la inyección y soplado del plástico para de esta manera, permitir una mayor ganancia del producto.

En lo referente al valor teórico, la investigación permitirá estudiar un sistema de enfriamiento operante desde algunos años, que proporcionará mayor información sobre el desgaste de los equipos y su respectivo comportamiento y poder visualizar en que zonas se puede hacer mayor hincapiés para la mejora de dicho sistema, lo que ampliará los conocimientos previos de la Universidad de Carabobo que pueden ser beneficiosos en futuros proyectos.

1.5 LIMITACIONES

Para la realización de este trabajo se tiene como primera limitante que en el laboratorio de calidad no se cuenta con los equipos necesarios para la caracterización del agua, lo cual es de vital importancia para la realización de este trabajo de investigación, así como también para el monitoreo continuo por parte de los operadores. También cabe esperar que se presenten inconvenientes o problemas, que podrían restringir o limitar la ejecución de dicho trabajo de la forma más satisfactoria posible.



CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

En éste capítulo se presenta los antecedentes de la investigación así como también, las bases teóricas necesarias para el desarrollo de este trabajo especial de grado.

2.1 ANTECEDENTES

En esta sección se presenta un resumen de investigaciones realizadas que guardan alguna relación con el presente trabajo y que servirán de base para el desarrollo del mismo.

Gómez, L. (2007). “**Propuestas para el pretratamiento del agua empleada en el sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire del instituto autónomo aeropuerto internacional de Maiquetía (I.A.A.I.M.)**”. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

La finalidad de este trabajo fue proponer un nuevo sistema para el pretratamiento del agua empleada en el sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire del Instituto Autónomo Aeropuerto Internacional de Maiquetía (I.A.A.I.M) con el cual se garantizó el adecuado funcionamiento de éste desde el punto de vista técnico-económico. Entre las conclusiones más importantes se pueden señalar las siguientes: el efecto del cloro residual en las resinas catiónicas fuertes es la reducción del tiempo de vida activa de estas sustancias, la implementación del rediseño del sistema de pretratamiento de agua del I.A.A.I.M, reducirá al mínimo el consumo de químicos para el tratamiento de la dureza del agua.



Pérez, E. (2004). **“Evaluación y mejoramiento del tratamiento químico del sistema de enfriamiento indirecto de una industria metalúrgica. Caso: ALUCASA”**. Tesis de grado de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo.

La finalidad de este trabajo fue evaluar y mejorar el tratamiento químico del sistema de enfriamiento de la empresa ALUCASA. Para ello fue necesario verificar la frecuencia, tipos de análisis y químicos utilizados. Además identificar los parámetros hidráulicos del sistema, establecer un programa de control físico, químico y microbiológico para regular los procesos de corrosión, incrustación y contaminación microbiológica; también se determinó la condición en la que se encuentra la resina de intercambio iónico. La metodología empleada consistió en realizar los ensayos de dureza total, pH, alcalinidad, conductividad, ciclos de concentración y TDS diariamente para observar el comportamiento de los sistemas. Los resultados que se obtuvieron muestran que las aguas bajaron los valores de los parámetros fisicoquímicos, encontrándose dentro de los valores estándar según las normas COVENIN; la velocidad de corrosión disminuyó de severa a moderada-leve; en cuanto a las resinas de los sistemas presentaron contaminación con hierro y materia orgánica, además de presentar fracturas en la matriz polimérica.

García, N y Y. Marcano. (2001). **“Evaluación de un sistema de enfriamiento de agua en el área de trefilación de una planta productora de alambre”**. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Se presentó como objetivo primordial de este trabajo de investigación una evaluación técnico-económica del sistema de enfriamiento del área de trefilación de la empresa productora de alambre Vicson S.A, para verificar el funcionamiento del mismo, generar alternativas y seleccionar la más adecuada, lo cual conlleve al mejoramiento del proceso. Entre los resultados más resaltantes de este trabajo de investigación se tienen: las torres de enfriamiento no cuentan con la capacidad térmica para enfriar el agua de los sistemas existentes cumpliendo con los



requerimientos hidráulicos necesarios para cada una de las máquinas trefiladoras. Además, se concluyó que el agua de enfriamiento está mal distribuida, ya que unas máquinas operan con un caudal menor al requerido y otras con uno mayor al indicado en las especificaciones técnicas.

Cabrera, F. y Santander, N. (2002). **“Mejoramiento de los sistemas de enfriamiento de los equipos de inyección de plástico de la Empresa Metalgráfica, S.A.”**. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

En este trabajo de investigación se estudió como mejorar las condiciones de los sistemas de enfriamiento de aceite hidráulico en las máquinas de inyección y en los condensadores de los enfriadores de agua helada en la Empresa Metalgráfica, S.A. Mediante la elaboración de análisis se concluyó que el sistema de enfriamiento se encontraba operando de manera ineficiente, además de que es necesario instalar una red de tuberías al mismo, que posean válvulas y accesorios que permitan controlar las condiciones de diseño de los intercambiadores de calor de las máquinas de inyección, las torres de enfriamiento, y los condensadores de los enfriadores puntuales.

Hernández, M. (1999). **“Rediseño del sistema de enfriamiento de agua de una planta de elaboración de mezcla base para pigmentación”**. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

La investigación se basó en términos generales en rediseñar el sistema de enfriamiento de agua en el área de producción de MASTERBATCH. Mediante las evaluaciones realizadas, se concluyó: que el sistema con el cual se estaba operando, no era adecuado, debido a que la capacidad térmica instalada era insuficiente para cubrir los requerimientos calóricos del sistema y los requerimientos hidráulicos eran superiores a los existentes, por lo tanto se recomendó realizar



modificaciones en las tuberías del sistema de enfriamiento, adaptadas a los requerimientos hidráulicos e instalar una nueva torre de enfriamiento.

2.2 BASES TEÓRICAS

A continuación se presentan las bases teóricas que sustentan la elaboración del presente trabajo. En donde se incluyen los conceptos básicos relacionados con el pretratamiento de agua, sistemas de enfriamiento, proceso de moldeo de plástico entre otros conceptos de interés.

2.2.1 Tipos de agua

A continuación se describen una serie de tratamientos que se le designan al agua según su origen y su uso.

2.2.1.1 Agua cruda: es el agua proveniente del acueducto. Su calidad depende de su origen y de los tratamientos a los que ha sido sometida. Debe ser un agua potable. En la industria, uno de los principales usos es el lavado de materiales y la limpieza de diferentes áreas. (García, 2001)

2.2.1.2 Agua dura: es el agua que presenta un alto contenido de carbonato de calcio y magnesio en suspensión. (García, 2001)

2.2.1.3 Agua ablandada o suavizada: es un agua con un escaso o nulo contenido de hierro y metales alcalinotérreos. A esta agua se le ha removido su dureza producida por la presencia de sales que se forman con la presencia de iones como sulfatos, cloruros, calcio y magnesio. Usualmente se obtiene por precipitación utilizando cal o dióxido de carbono y por intercambio catiónico. (García, 2001)

2.2.1.4 Agua de proceso: es el agua que puede ser utilizada como materia prima para la elaboración de diversos productos. Usualmente es un agua obtenida por ósmosis inversa, destilación o cualquier otro medio fisicoquímico. (García, 2001)



Algunos procesos requieren un agua que esté prácticamente libre de dureza y el tratamiento que usualmente se emplea será el del proceso de intercambio catiónico. (García, 2001)

2.2.1.5 Agua de enfriamiento: es la empleada en los sistemas de refrigeración como fluido de trabajo, generalmente en las unidades tipo enfriador, intercambiadores de calor, pines de soplado, cabezal de soplado, molinos, extrusora, entre otros. Esta agua de enfriamiento, ha de ser tratada adecuadamente para el correcto funcionamiento de los sistemas de refrigeración en los cuales participa. (García, 2001)

2.2.2 Calidad del agua

Este término puede responder a varias definiciones, que se han visto reflejadas en la legislación a lo largo del tiempo. De forma tradicional se ha entendido por calidad de un agua el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. Esta definición ha dado lugar a diversas normativas, que aseguran la calidad suficiente para garantizar determinados usos. (Gómez, 2007)

2.2.3 Problemas que se presentan en sistemas de enfriamiento

2.2.3.1 Turbidez

Cualquier impureza insoluble finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida en el agua y disminuir su claridad, se le conoce como turbidez. Estas impurezas suspendidas pueden ser de origen inorgánico, tales como arcilla, limas, carbonato cálcico, sílica, hidróxido férrico, azufre, entre otros, o pueden ser de naturaleza orgánica, tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos, etc. La turbidez puede deberse a una sustancia simple o más comúnmente a una mezcla de sustancias. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)



2.2.3.2 Sólidos disueltos totales

Es una medida de la concentración total de iones en solución y se expresa en partes por millón. En soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

2.2.3.3 Temperatura

La temperatura es la medida del el grado de calor de una sustancia, es decir, su nivel de energía calorífica. Se mide usando una escala arbitraria a partir del cero absoluto, donde las moléculas teóricamente dejan de moverse. Es también el grado de calor y de frío. (Aurazo, 2002)

2.2.3.4 pH

El pH de una sustancia es una medición de su acidez tal como un grado es una medición de temperatura. Un valor específico de pH nos dice la acidez exacta.

El pH es definido en términos de la actividad del ión hidrógeno como:

$$pH = -\log[H^+] (l)$$

Donde:

$[H^+]$: Concentración del ión hidronio (M)

(<http://www.hannachile.com/noticias-articulos-y-consejos/articulos/198-conceptos-ph#>)

2.2.3.5 Alcalinidad

La basicidad o alcalinidad es la capacidad acido-neutralizante de una sustancia química en solución acuosa. La alcalinidad de una sustancia se expresa en equivalentes de base por litro o en su equivalente de carbonato cálcico.



Debido a que la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales está compuesta casi íntegramente de iones de bicarbonato y de carbonato, las determinaciones de alcalinidad pueden dar estimaciones exactas de las concentraciones de estos iones. (Aurazo, 2002)

2.2.3.6 Conductividad eléctrica

Un punto importante en la química del agua es la conductividad eléctrica. Cuando mayor es el contenido de minerales del agua, mayor será su conductividad. Esto tiene varias consecuencias importantes. Primero; cuanto mayor es la conductividad, más libremente podrá fluir corriente eléctrica a través de agua y más rápida es la velocidad de corrosión si las demás condiciones la favorecen. Segundo; cuanto mayor es la conductividad, menos ionizados estarán los minerales disueltos en el agua, pero los iones están empacados en forma más estrecha y chocan con mayor frecuencia. Esto disminuye el coeficiente de actividad, o libertad, aumentando la solubilidad del CaCO_3 y otros materiales ligeramente solubles. (Rigola, 1999)

2.2.3.7 Nitritos y nitratos

Los nitratos son muy solubles en agua debido a la polaridad de ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos. Los nitritos son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana. (Aurazo, 2002)

El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, éstos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos. (Aurazo, 2002)



2.2.3.8 Cloruros

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio o de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm.

Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras. . (Rigola, 1999)

2.2.3.9 Sílice

El silicio es el segundo elemento más abundante del planeta y se encuentra en la mayoría de las aguas. La sílice existe normalmente como óxido (como SiO_2 en la arena y como silicato $\text{SiO}_3^{=}$). Puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal. El análisis de la sílice en el agua de alimentación de las calderas de alta presión, es de gran importancia para evitar la formación de depósitos duros de sílice en los tubos de las calderas y en las aspas de las turbinas de vapor. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

Es importante conocer el contenido de la sílice en aguas de uso industrial y aguas de desecho. Los análisis de la sílice, también proporcionan un método sensitivo para el control de la operación de los desmineralizadores de agua, ya que la sílice es una de las primeras impurezas que salen a través de una unidad agotada. Se puede eliminar la sílice del agua por intercambio iónico, destilación, tratamientos con cal, carbonato y magnesio. En ocasiones es usado para formar capas protectoras internas en las tuberías para inhibir la corrosión. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)



2.2.3.10 Hierro

La presencia del hierro en el agua causa una precipitación y coloración no deseada. La separación del hierro está basada en la precipitación controlada del éste. Esto es normalmente hecho por la mezcla del agua con el aire seguido por la filtración de arena. El valor del pH en el agua es de gran importancia en esto. Una alta concentración de hierro puede ser tratada por dos o más sistemas en serie.

Los compuestos unidos al hierro puede ser muy difícil de separar. En este caso la oxidación con ozono puede ser una solución. (<http://www.lenntech.es/hierro-retiro.htm#ixzz0iG4LgGYy>)

2.2.3.11 Ciclos de concentración

Los ciclos de concentración en los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abierta, es el número de veces que las impurezas del agua de alimentación se concentran en el agua del sistema. Los ciclos de concentración se obtienen del cociente del flujo de agua de reposición para el flujo de agua de purga. Lo cual significa que a mayor flujo de purga, se obtienen menores ciclos, por lo tanto las sales, y en general las impurezas se concentran menos en el agua del sistema, y viceversa.

$$CC = \frac{TDS_{Purga}}{TDS_{Reposición}} \quad (II)$$

Donde:

CC: ciclos de concentración

TDS_{Reposición}: Total de sólidos disueltos en el flujo de reposición

TDS_{Purga}: Total de sólidos disueltosflujo de Purga

También, los ciclos de concentración pueden ser calculados comparando la concentración de una sal muy soluble como son los cloruros. Los ciclos de concentración resultarán de dividir su concentración en el agua de recirculación del



sistema para la concentración en el agua de reposición. Esta forma de calcular puede ser muy aceptable, si no se aporta cloruros mediante el tratamiento químico. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

2.2.3.12 Índice de Langelier

Medida que ayuda a estimar cual es la tendencia del agua, si bien posee un carácter corrosivo o incrustante. Mide la diferencia que existe entre el pH real del agua y el pH de saturación del calcio, es decir el valor de pH (teórico) en el cual el carbonato de calcio empieza a precipitarse; éste valor de pH depende de valores en los resultados fisicoquímicos de la dureza, la temperatura, la alcalinidad M y el total de sólidos disueltos del agua de recirculación del equipo. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

$$ISL = pH - pHs \text{ (III)}$$

Donde:

$$pHs = (pK_2 - pK_s) + pCa + pAlc \text{ (IV)}$$

Donde:

pK_2 : el logaritmo negativo de la constante de la segunda disociación del ácido carbónico

pK_s : el logaritmo negativo de la constante del producto de solubilidad

pCa : el logaritmo negativo de la concentración de calcio

$pAlc$: el logaritmo negativo de la alcalinidad

Dicho índice se interpreta como se muestra en la tabla 2.1:



Tabla 2.1. Resumen de interpretación del Índice de Langelier

Tipo	Características	Acciones correctivas
LSI < 0,5	Carácter corrosivo	Revisar el pH en el sistema
0,5 < LSI < 1,0	Niveles óptimos de operación	Rango recomendado, continuar proceso
LSI > 1,0	Carácter incrustante	Disminuir niveles de dureza en el agua, revisar eficiencia de procesos de ablandamiento

Fuente: http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf

2.2.3.13 Índice de Riznar:

Basándose en diversos estudios reales sobre distintos sistemas, Ryznar modificó el índice de Langelier para predecir la tendencia incrustante o agresiva de un agua. Se calcula de la siguiente manera:

$$IR = 2 pH_s - pH (V)$$

De acuerdo al valor obtenido, se maneja una escala que indica la tendencia incrustante o corrosiva del agua

Fuente: (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

Tabla 2.2. Resumen de interpretación del Índice de Riznar

Índice de Riznar	Condición
3,0	Extremadamente incrustante
5,0	Severamente incrustante
5,5	Moderadamente incrustante
5,8	Levemente incrustante
6,0	Estable
6,5	Estable con leve tendencia corrosiva
7,0	Levemente corrosiva
8,0	Moderadamente corrosiva
9,0	Fuertemente corrosiva

Fuente: http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf



2.2.3.12 Corrosión

Los sistemas de enfriamiento contienen diversos materiales metálicos, como son: aceros, acero galvanizado, aleaciones de cobre, etc. A esto, debe agregarse los productos utilizados para controlar incrustaciones o crecimiento microbiano, que estarán disueltos en el agua del circuito, lo que constituye un medio muy complejo.

Fuente: (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

Al estar el agua de la torre en permanente contacto con el aire, estamos seguros de que, en cada recirculación la concentración de oxígeno disuelto en la misma será muy cercana a la correspondiente a la de saturación de oxígeno disuelto en esas condiciones. (Perry, 1992)

Este problema es grave pues la corrosión se dará en los equipos más caros: condensadores de amoníaco, compresor, intercambiadores de calor, compresor de tornillo, etc., ocurriendo en forma localizada. Todo lo anterior hace que se requiera una cuidadosa evaluación al elegir un sistema de control de la corrosión. (Perry, 1992)

Una posible solución, sería modificar las características agresivas del agua. El control de la concentración de oxígeno disuelto, por ejemplo por agregado de sulfito, sería excesivamente caro a la vez que ineficiente. (Perry, 1992)

Es frecuente el uso de inhibidores de corrosión, los que actúan protegiendo la superficie del material metálico, cuya acción es la de despolarizar (disminuir o detener el flujo eléctrico) las reacciones de corrosión. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)

Existen inhibidores anódicos y catódicos, dependiendo sobre cual reacción actúan. En general, los catódicos precipitan sobre el metal formando una barrera protectora al ataque del oxígeno. Los anódicos promueven la formación de óxidos estables del metal, lo que limita la disolución del mismo. (http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf)



Los inhibidores de corrosión más comunes son:

- Anódicos: molibdatos, ortofosfatos, nitritos, silicatos;
- Catódicos: zinc, polifosfatos, fosfonatos.

2.2.4 Problemas ocasionados por la dureza del agua en equipos de intercambio térmico.

Los accidentes que pueden provocar el agua en los sistemas de caldera o en dispositivos encargados de realizar la transferencia térmica entre el agua y cualquier otro fluido son principalmente incrustaciones en equipos de intercambio térmico. (Gómez, 2007)

Los depósitos, en particular las incrustaciones, se pueden formar sobre la superficie de cualquier equipo que emplee agua como fluido de trabajo, especialmente en los tubos de las calderas y equipos de intercambio térmico, en cuanto las condiciones de equilibrio en el agua en contacto con estas superficies son perturbadas por una fuerza externa, como el calor. Estos se separan del agua en áreas de baja velocidad, compactándose para formar un aglomerado denso semejante a la incrustación, pero manteniendo las características de los precipitados originales. (Gómez, 2007)

Los componentes más comunes de los depósitos de intercambiadores de calor y del enfriador son fosfato de calcio, carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, silicato de magnesio, y alúmina. Pueden formarse depósitos hasta un punto en que ocluyen totalmente los tubos de los enfriadores. (Díaz, 2005)

A tasas mayores de transferencia de calor, y en calderas de alta presión, son más severos los daños, en especial cuando se trabaja en el intervalo de temperaturas (482–732) °C, el acero al carbón comienza a deteriorarse generándose puntos debilitados en el material que pueden producir grietas y con el pasar del tiempo la ruptura de tuberías y accesorios. (Díaz, 2005)



Los depósitos de carbonato de calcio aíslan el tubo y reducen la tasa a la que éste puede transferir calor; en los enfriadores se interrumpe el flujo de calor del agua hacia el refrigerante en el evaporador del equipo, y también se impide el enfriamiento por el agua de la sección de condensación del equipo cuando el refrigerante está sobrecalentado. Si el depósito no es lo bastante grueso como para causar tal ruptura, todavía puede causar una importante pérdida en la eficiencia, así como la interrupción de la carga de transferencia de calor en otras secciones de los equipos de intercambio térmico. (Díaz, 2005)

Para establecer una comparación, la conductividad térmica del ladrillo refractario, es de cerca de $0,75 (W/m \cdot K)$ y la del acero cerca de $45 (W/m \cdot K)$. Por lo tanto, los depósitos de agua dura tienen conductividades térmicas de 3 a 8% (promedio cerca de 5%) de las de acero, y aproximadamente igual a las del ladrillo refractario. En otras palabras, los depósitos de agua dura son materiales aislantes como el ladrillo refractario. Desafortunadamente, los depósitos se forman en lugares no convenientes, lo que ha conducido a llamarlos “aislante equivocado”. (Gómez, 2007)

2.2.5 Sistemas de filtración y remoción de partículas sólidas del agua

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distintos tamaños de partículas, siendo la superior la más pequeña, entre 0,15 y 0,3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de tierra de diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa. (<http://www.lenntech.es/systems/deep/deep/deep-filters.htm>)



2.2.5.1 Tipos de filtros:

- **Filtros de grava y arena:** se utilizan con frecuencia y es un método muy robusto para separar los sólidos suspendidos del agua. La filtración media consiste en una capa múltiple de la arena con una variedad de tamaño y gravedad específica. Los filtros de arena se pueden proveer en diversos tamaños y pueden ser manejados manualmente o de forma totalmente automática. (Gómez, 2007)

Entre las aplicaciones para la filtración de arena se pueden mencionar las siguientes: preparación de agua fría, tratamiento de aguas residuales, producción de agua potable, filtración en piscinas, pre-filtración para sistemas de membrana, filtración de agua gris o de superficie. (Gómez, 2007)

Cuando los filtros se cargan con las partículas, la dirección de flujo es invertida y el volumen del mismo se aumenta para limpiar el filtro de nuevo. El tiempo para la limpieza es determinado por los siguientes criterios: volumen, presión de la gota sobre el filtro, tiempo de operación. (<http://www.lenntech.es/systems/deep/deep/deep-filters.htm>)

- **Filtros de carbón activado:** el carbón activado es material poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan una propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea el carbón. (<http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>)

El carbón activado es producido específicamente para lograr una superficie interna muy grande (entre 500 a 1500 m²/g). Esta superficie interna grande hace ideal la adsorción de carbón activo. (<http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>)

A esta propiedad se le llama adsorción; al sólido se le denomina “adsorbente” y a la molécula atrapada, “adsorbato”. La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva



a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. Éstas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles. (<http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>)

El carbón activado, es un compuesto covalente y, por lo tanto, muestra preferencia por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas. Una de las principales aplicaciones del carbón activado es la purificación de líquidos y gases contaminados con alguna molécula orgánica. (<http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>)

- **Descripción del proceso de filtrado con carbón activado**

El agua es bombeada en una columna que contiene carbón activo, esta agua sale de la columna a través de un sistema de drenaje. La actividad del carbón activo en la columna, depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, lo que da una acumulación de sustancias en el filtro. Por ello, el filtro tiene que ser reemplazado periódicamente. (<http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>)

Un filtro usado puede ser regenerado en formas diferentes, el carbón granular puede ser regenerado fácilmente mediante la oxidación de la materia orgánica. La eficacia del carbón activo disminuye en un 5 - 10%. Una pequeña parte del carbón activo, se destruye durante el proceso de regeneración y debe ser sustituido. (<http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>)

- **Descripción de la adsorción**

Las moléculas de gas o en fase líquida se fijarán en una forma física a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo. El proceso de adsorción se lleva a cabo en tres pasos:

- **De transporte Macro:** el movimiento de la materia orgánica a través del sistema de macro-poros del carbón activo (macro-poros > 50nm)
- **Micro transporte:** el movimiento de la materia orgánica a través del meso-poros y micro-sistema de poros del carbón activo (micro-poros < 2 nm; meso-poro 2-50nm)
- **Adsorción:** la adhesión física del material orgánico en la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo.

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar no puede ser eliminada por carbón activo, una sustancia no polar puede ser removida en su totalidad por carbón activo. (<http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>)

La figura 2.1 muestra el agotamiento durante el uso de la columna. En el punto C3 la columna empieza a romper en el punto más bajo y cerca del punto C4 la columna ya no puede purificar más. Entre C3 y C4 es el punto en donde se necesita regenerar la columna. (<http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>)

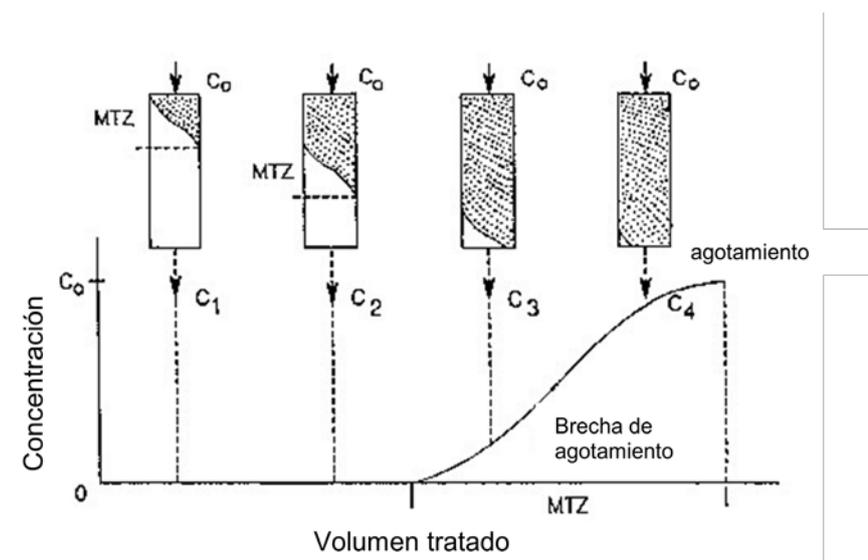


Figura 2.1. Gráfica de agotamiento del filtro de carbón activado
Fuente: <http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>



2.2.6 Productos químicos para el pretratamiento de las aguas

Para el tratamiento químico del agua existe una gran variedad de productos químicos. A continuación se explican diversos tipos de éstos:

2.2.6.1 Algicidas: son productos químicos que matan a las algas azules o verdes, cuando se agregan al agua. Los ejemplos son sulfato de cobre, sales de hierro, entre otros. Éstos son eficaces contra las algas, pero no es muy útil para las floraciones algales por razones ambientales. El problema de la mayoría de los algicidas es que matan a todas las algas actuales, pero no quitan las toxinas que son lanzadas por las algas antes de la muerte. (Rodríguez, 2006)

2.2.6.2 Antiespumantes: la espuma es una masa de burbujas creadas cuando ciertos tipos de gases se dispersan en un líquido. Las películas fuertes del líquido hacen que las burbujas, formen volúmenes grandes de espuma no productiva. La causa de la espuma requiere un estudio complicado en química-física, pero sabemos ya que su existencia presenta problemas serios en la operación de procesos industriales y la calidad de productos acabados. Cuando la espuma no se mantiene bajo control, puede reducir la capacidad del equipo y aumentar la duración y los costes de los procesos. (Rodríguez, 2006)

Las mezclas de antiespumantes contienen los aceites combinados con cantidades pequeñas de silicona. Ellos rompen la espuma gracias a dos características de la silicona: incompatibilidad con los sistemas acuosos y facilidad de separarse. (Rodríguez, 2006)

2.2.6.3 Biocidas: es un producto químico tóxico para los microorganismos. Los biocidas son generalmente dosificados a un sistema para reducir eficaz y rápidamente la población de los microorganismos, los cuales no pueden recuperarse fácilmente del descenso de población. Pueden ser divididos en agentes oxidantes y agentes no oxidantes. (Wittcoff, 2000)



2.2.6.4 Inhibidores de la corrosión: la corrosión puede producir daños de partes críticas del sistema, de deposición de los productos de la corrosión en áreas críticas de los intercambiadores de calor, y de pérdida total de la eficacia. Los inhibidores son los productos químicos que reaccionan con una superficie metálica, dando a la superficie cierto nivel de protección. (Wittcoff, 2000)

Los inhibidores trabajan a menudo fijándose por absorción en la superficie metálica, protegiendo la superficie metálica formando una película. Hay cinco clases de inhibidores de la corrosión, estos son:

- **Inhibidores pasivos:** éstos causan un cambio del potencial de la corrosión, forzando la superficie metálica en el tipo pasivo. Los ejemplos de los inhibidores de la pasividad son aniones oxidantes, tales como iones del cromato, del nitrito y del nitrato y los no oxidantes tales como fosfato y molibdato. Éstos, son los más eficaces y por lo tanto posiblemente los más usados extensamente. (Wittcoff, 2000)

- **Inhibidores catódicos:** algunos inhibidores catódicos, tales como compuestos del arsénico y del antimonio, trabajan haciendo la recombinación y la descarga del hidrógeno más difíciles. Otros inhibidores catódicos, iones tales como calcio, cinc o magnesio, se pueden precipitar como óxidos para formar una capa protectora en el metal. (Wittcoff, 2000)

- **Inhibidores orgánicos:** éstos afectan a la superficie entera de un metal corrosivo cuando están presentes en cierta concentración. Protegen el metal formando una película hidrofóbica en la superficie del metal, son fijados por adsorción según la carga iónica del inhibidor y la carga en la superficie. (Wittcoff, 2000)

- **Precipitación inducida por los inhibidores:** éstos son los compuestos que causan la formación de precipitados en la superficie del metal, de tal modo que proporciona una película protectora. Los inhibidores más comunes de esta categoría son silicatos y fosfatos. (Wittcoff, 2000)



- **Inhibidores volátiles de la corrosión (IVC):** éstos son compuestos transportados en un ambiente cerrado al sitio de la corrosión por volatilización de una fuente. Los ejemplos son morfolina e hidracina y sólidos volátiles tales como sales del dicitclohexilamina, ciclohexilamina y hexametileno-amina. En contacto con la superficie del metal, el vapor de estas sales condensa y es hidrolizado por humedad, para liberar iones protectores. (<http://www.aquapurificacion.com/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm>)

- **Inhibidores de costras:** la costra es el precipitado que forma sobre las superficies de contacto con el agua como resultado de la precipitación normalmente de sólidos solubles que llegan a ser insolubles cuando se incrementa la temperatura. Algunos ejemplos son el carbonato cálcico, sulfato cálcico y silicato cálcico. (<http://www.aquapurificacion.com/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm>)

Los inhibidores de costra son polímeros de superficie cargados negativamente. Cuando los minerales exceden sus solubilidades y empiezan a combinarse, los polímeros comienzan a unirse. La estructura para la cristalización es disturbada y la formación de costra es prevenida. Las partículas de costra combinadas con los inhibidores permanecerán dispersados y suspendidos. Ejemplos de inhibidores de costra son ésteres de fosfato, ácido fosfórico y soluciones de ácido poliacrílico de bajo peso molecular. (<http://www.lenntech.es/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm>)

2.2.7 Sistemas de ablandamiento de agua: la dureza en el agua se genera como consecuencia de la presencia de ciertas sales en el agua. Los iones presentes en un agua dura son calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua de proceso. (<http://www.lenntech.es/processes/softening/softening.htm>)

2.2.7.1 Proceso de intercambio de iones: es un proceso rápido y reversible en el cual los iones impuros presentes en el agua son reemplazados por iones que

despiden una resina de intercambio de iones. Los iones impuros son tomados por la resina que debe ser regenerada periódicamente para restaurarla a su forma iónica original. (Un ion es un átomo o grupo de átomos con una carga eléctrica. Los iones con carga positiva se llaman cationes y son generalmente metales, los iones con carga negativa se llaman aniones y son generalmente no metales). (<http://www.excelwater.com/esp/b2c/ix.php>)

La tabla 2.3 muestra los iones que son generalmente encontrados en aguas crudas:

Tabla 2.3. Iones encontrados en aguas crudas

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Magnesio (Mg^{2+})	Bicarbonato (HCO_3^-)
Sodio (Na^+)	Nitrato (NO_3^-)
Potasio (K^+)	Carbonato (CO_3^{2-})
Hierro (Fe^{2+})	Sulfato (SO_4^{2-})

Fuente: <http://www.excelwater.com/esp/b2c/ix.php>

Las resinas de intercambio iónico están destinadas a varios usos, descalcificación, desnitratación, desionización, desnitratación. Dependiendo de la aplicación a la que se destinen existen diferentes tipos. En la figura 2.2, se puede observar en detalle las resinas de intercambio iónico.

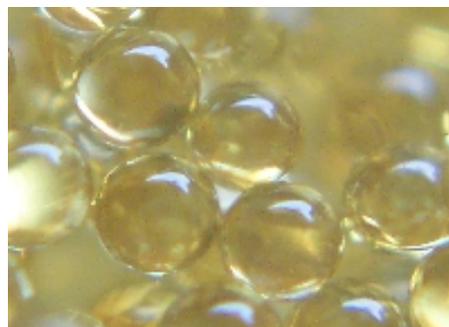


Figura 2.2. Detalle de las esferas de resina de intercambio iónico

Fuente: <http://www.desmineralizadores.com/index.html>



El tamaño real de las esferas es superior a 0,2 mm para que no puedan pasar a través de las crepinas del desmineralizador, y generalmente inferior a 1 mm. (<http://www.desmineralizadores.com/index.html>)

2.2.7.2 Tipos de resinas de intercambio iónico

- **Resinas catiónicas de ácido fuerte:** derivan su funcionalidad de los grupos ácidos sulfónicos. Estos intercambiadores catiónicos de ácido fuerte funcionan a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales y requieren una cantidad sustancial de regenerante. Esta es la resina que se escoge para casi todas las aplicaciones de suavizado y como primera unidad en un desmineralizador de dos lechos, o como componente catiónico de un lecho mixto. (Avilla, 1999)

- **Resinas catiónicas de ácido débil:** contienen grupos carboxílicos como sitios de intercambio. La resina es altamente eficiente, ya que es regenerada con casi 100% de la cantidad estequiométrica de ácido, comparado con el 200% a 300% requerido para los cationes de ácido fuerte. Las resinas catiónicas débiles están sujetas a una menor capacidad por un aumento en la velocidad de flujo, temperaturas bajas, y una proporción entre la dureza y la alcalinidad menor a 1. Se utilizan muy efectivamente en combinación con una resina catiónica de ácido fuerte que funciona en forma de hidrógeno, ya sea en configuración de lecho separado o lecho estratificado. En ambos casos, el agua influyente se pone en contacto con la resina catiónica de ácido débil donde se eliminan los cationes que están asociados con la alcalinidad. Los cationes restantes son eliminados por la resina catiónica de ácido fuerte. La resina catiónica de ácido débil es regenerada con el ácido de desecho de la unidad de ácido fuerte, proporcionando un arreglo muy económico. (Avilla, 1999)

- **Resinas aniónicas de base fuerte:** derivan su funcionalidad de los sitios de intercambio de amonio cuaternario. Los dos grupos principales de resinas aniónicas de base fuerte son las de Tipo 1 y Tipo 2, dependiendo del tipo de amina que se



utiliza durante el proceso de activación química. Químicamente, los dos tipos difieren en el tipo de especie de sitios de intercambio de amonio cuaternario que exhiben: los sitios de Tipo 1 tienen tres grupos de metilo; en los de Tipo 2, un grupo de etanol reemplaza a uno de los grupos de metilo. (Avilla, 1999)

- **Resinas aniónicas de base débil:** contienen el grupo funcional de poliamina, que actúa como adsorbedor de ácido, eliminando los ácidos fuertes de la corriente del efluente de cationes. Esta resina débilmente ionizada es regenerada de manera eficiente por cantidades de base casi estequiométricas (tales como el hidróxido de sodio) que restauran los sitios de intercambio a la forma de base libre. El paso de regeneración es esencialmente una neutralización de los ácidos fuertes que son recolectados en la resina y puede usar desechos cáusticos de una unidad aniónica de base sólida para realzar la economía. Las resinas aniónicas débiles deben ser usadas en aguas con niveles elevados de sulfatos o cloruros, o donde no se requiera la eliminación de la alcalinidad y del silicio. (Avilla, 1999)

2.2.8 Descripción y características de los materiales

Se hará una breve descripción del tipo de material que se utiliza para la fabricación de los envases y tapas plásticas, así como de las características de cada uno. Además se dará a conocer el tipo de maquinaria con el que se cuenta y se describirán los procesos de inyección y soplado.

2.2.8.1 Polietileno

El polietileno se produce a partir del etileno, que es un derivado del petróleo o del gas natural. Mediante la polimerización se crean las grandes cadenas, incrementando la temperatura y aplicando un catalizador a un monómero o molécula original; por ejemplo, el polímero más sencillo, que es el polietileno. (<http://www.polinter.com.ve/productos/>)



- **Propiedades del polietileno:**

- Versátil (permite múltiples aplicaciones)
- Excelente aislante eléctrico
- Transparente opaco o colores atractivos
- Resistente a las bajas temperaturas
- Higiénico y seguro
- Inerte a los ataques de productos químicos
- Excelente barrera a la humedad
- Económico

Para su identificación comercial, los polietilenos se clasifican de conformidad con su peso molecular y con su densidad y, de acuerdo a esta identificación, se menciona a continuación cada uno de ellos:

- Polietileno de alta densidad
- Polietileno de baja densidad
- Polietileno lineal de baja densidad
- Aditivos

- **Polietileno de alta densidad (PEAD)**

Ofrece alta resistencia química, excelente barrera al vapor de agua, bajo peso, fácil transformación y es altamente cristalino. Fue el primer candidato para disputar el mercado de comestibles en sacos y bolsas, teniendo como principal razón su bajo costo. (<http://www.polinter.com.ve/productos/>)

- **Aplicación del polietileno de alta densidad**

- Caños
- Envases soplados, botellas



- Bidones
- Contenedores Industriales
- Cajones
- Bolsas de supermercado

- **Polietileno de baja densidad (PEBD)**

Entre las propiedades que sobresalen tenemos: buena flexibilidad, transparencia, resistencia al impacto y resistencia química, excelente barrera al vapor de agua, bajo peso y facilidad de procesamiento. (<http://www.polinter.com.ve/productos/>)

- **Aplicaciones del polietileno de baja densidad**

- Película termocontraíble
- Enlazamiento automático
- Bolsas industriales
- Bolsas de uso general
- Cables eléctricos

2.2.8.2 Polipropileno

Es una resina termoplástica que se obtiene de la polimerización del propileno, monómero derivado del proceso de refinación del petróleo, en presencia de un sistema catalítico y bajo condiciones controladas de presión y temperatura.

En el proceso de polimerización, el catalizador reacciona con las moléculas de propileno (hidrocarburo insaturado), las cuales se unen secuencialmente para formar una larga molécula de polipropileno. (Propilven, 1990 – 2005)

El polipropileno se caracteriza por ser una poliolefina versátil con un excelente balance de propiedades mecánicas y facilidades de procesamiento. De igual forma esta resina, exhibe una baja densidad, alta resistencia química, resistencia a la



deformación por calor y baja permeabilidad al vapor de agua, características que hacen esta resina más atractiva a los consumidores y adicionalmente es capaz de competir con otros materiales más costosos. (Propilven, 1990 – 2005)

2.2.9 Moldeo por inyección

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero o cerámico en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. (<http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>)

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes. Sólo en los Estados Unidos, la industria del plástico ha crecido a una tasa de 12% anual durante los últimos 25 años, y el principal proceso de transformación de plástico es el moldeo por inyección, seguido del de extrusión. (<http://www.polinter.com.ve/productos/transformacion/inyeccion.php>.)

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores. (<http://www.solvayindupa.com/processosdetransformacao/processingmethod/0,,12402-10-0,00.htm>)

Una máquina de inyección de plásticos consta de tres partes fundamentales:

- a) **Cuerpo de la máquina:** Está constituido por todo equipo hidráulico y eléctrico que acciona y controla las unidades de cierre y de inyección, así como el sistema de arranque de la máquina.
- b) **Unidad de inyección:** plastifica el material en gránulo; el material termoplástico, con la aplicación de presión y temperatura, es transportado a través de un husillo hacia las cavidades del molde.
- c) **Unidad de cierre:** esta unidad tiene la misión de efectuar el movimiento hacia la posición de cierre y apertura de molde dentro del ciclo total de trabajo de la máquina.

Estas unidades de cierre tienen que soportar las altas presiones internas de llenado que se producen en la inyección, por lo que deben estar diseñadas convenientemente. (Mérida, 2005)

En la figura 2.3 se muestran las partes fundamentales de una máquina de inyección.

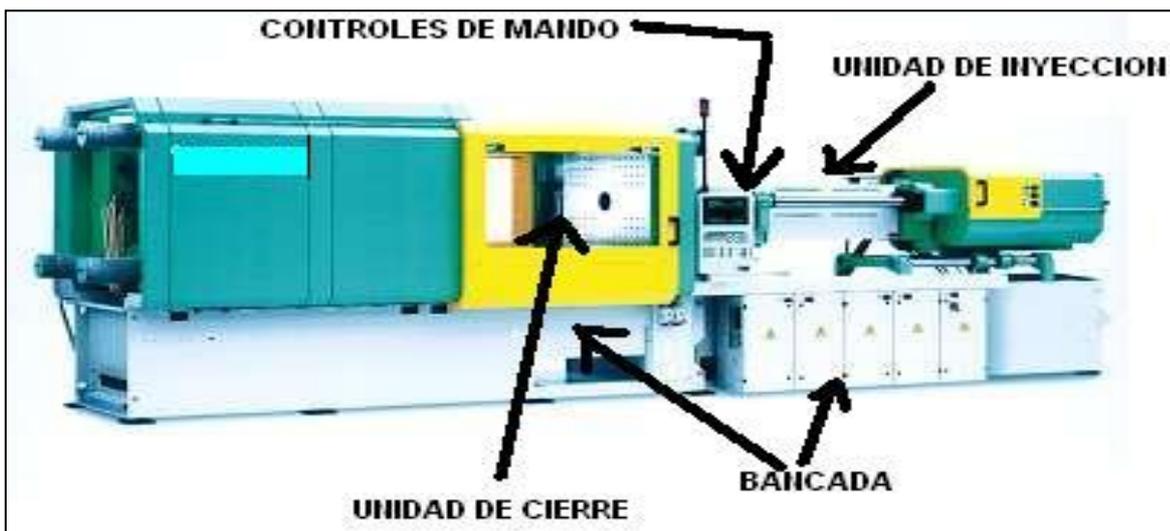


Figura 2.3. Partes fundamentales de la máquina de inyección

Fuente: <http://www.solvayindupa.com/processosdetransformacao/processingmethod/0,,12402-10-cp0,00.htm>



2.2.9.1 Descripción del proceso de inyección

Los gránulos de plástico se vuelcan en una tolva, donde son alimentados por peso o por volumen dentro del cilindro de calentamiento, el cual es recalentado eléctricamente, mientras el pistón se encuentra retraído. Al comienzo del ciclo por inyección, el pistón o husillo empuja la resina, rápidamente, dentro del cilindro, comprimiéndola alrededor de la boquilla. (<http://www.polinter.com.ve/productos/transformacion/inyeccion.php>)

38

La presión y la temperatura contribuyen a plastificar la resina. A medida que la masa fundida avanza en el cilindro, ésta va alcanzando la temperatura de las paredes, se mezcla, se homogeniza hasta hacerse más fluida, alcanzando así, la fluidez necesaria al aproximarse a la boquilla. (<http://www.polinter.com.ve/productos/transformacion/inyeccion.php>)

2.2.10 Moldeo por soplado

La tecnología de moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de grandes volúmenes de producción, como la inyección. Y presenta, al mismo tiempo, factores de costes favorables. El procedimiento utiliza plásticos con un peso molecular más elevado, por lo que es posible obtener paredes más delgadas y resistencias más elevadas a igualdad de peso. (Ávila, 2008)

2.2.10.1 Funcionamiento

En general, todos los procesos de moldeo por soplado consisten en obtener una preforma, que es un elemento tubular o en forma de tubo de ensayo, fijarla dentro de un molde de soplado y, a una temperatura específica de cada material para que tenga consistencia suficiente, inyectar aire en su interior para que se adapte a las paredes del molde, permitir su enfriamiento bajo presión y abrir el molde para extraerla cuando ha alcanzado suficiente consistencia. (Ávila, 2008)



2.2.10.2 Conceptos básicos del proceso.

El moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de gran serie, como la inyección, en tanto que permite contrasalidas, posibilidad de variar el espesor de pared y, en función de las bajas presiones utilizadas (0,2-1,0 MPa), bajas tensiones residuales. Presenta, al mismo tiempo, factores de costes favorables. (Martínez, 2008)

El proceso permite utilizar plásticos con un peso molecular más elevado que, por ejemplo, la inyección, por lo que es posible obtener paredes más delgadas y resistencias más elevadas a igualdad de peso, y mejor comportamiento a los agentes ambientales y productos químicos que producen fisuración por tensiones. (Mérida, 2005)

Básicamente, el proceso consiste en obtener una preforma (que tiene el aspecto de un tubo de ensayo o un tramo de tubo), situarla en un molde hueco en dos piezas que pinza o no uno o ambos extremos, inyectar aire a presión dentro de la preforma caliente para que conecte con las paredes del molde y tome su forma, permitir su enfriamiento y abrir el molde para retirar la pieza. (Mérida, 2005)

Los factores que inciden en la selección de los distintos materiales utilizables o de los procesos posibles de moldeo por soplado son los requisitos de rendimiento, tamaño y forma de la pieza, cantidad a fabricar y consideraciones de coste. Cada proceso presenta ventajas e inconvenientes que deben tenerse en cuenta, al tiempo que debe considerarse la adecuación de cada material al proceso a utilizar. (Mérida, 2005)

2.2.10.3 Partes fundamentales del proceso por soplado

- **Cabezal:** es la herramienta que se monta y desmonta para hacer limpieza y obtener un óptimo material extruido para el diseño del producto. El tipo de material sale plastificado. Hay varios tipos de cabezal, entre ellos se encuentra cabezal de pinola, acumulador, torpedo, entre otros. (Martínez, 2008)

- **Molde:** esta herramienta también se puede desplazar, se utiliza para que el material obtenga la forma que se desea, en la máquina sopladora un envase y en otras máquinas otro tipo de producto. El molde funciona por un sistema hidráulico. (Martínez, 2008)

- **Pin de calibración:** esta herramienta se puede mover para que coincida con la entrada al molde, esta sirve para soplar el material que se encuentra dentro del molde y este a su vez adopta la forma que tiene el molde. El pin funciona por un sistema neumático. (Martínez, 2008)

- **Cuchilla:** la función de esta herramienta, que también se puede desplazar, es cortar el material que agarra el molde para que de esta manera el pin pueda entrar al molde y hacer su función. (Martínez, 2008)

En la figura 2.4, se muestra el proceso general que realiza una máquina de soplado de plásticos.

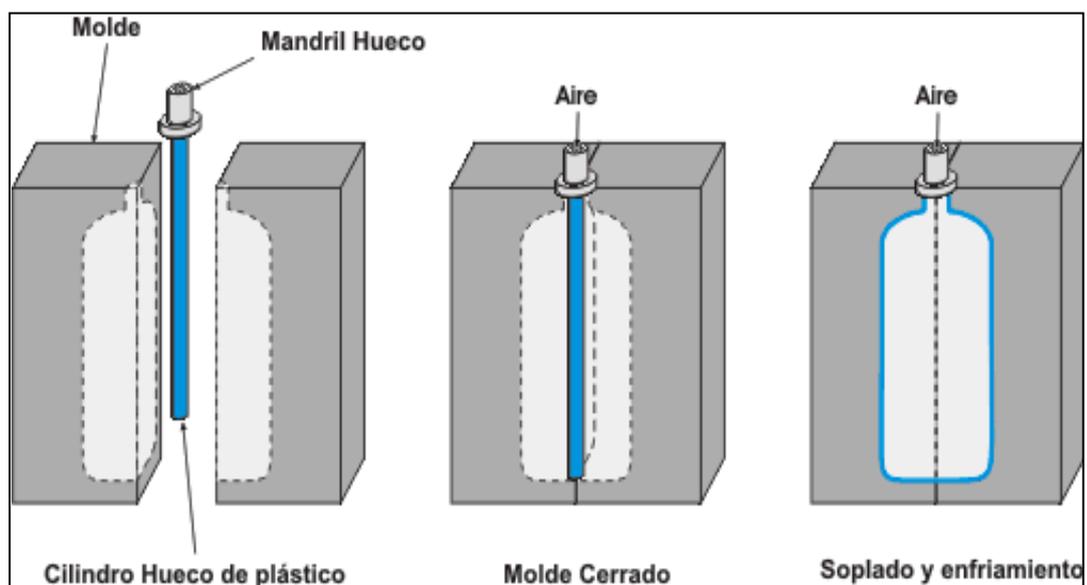


Figura 2.4. Proceso general de una máquina de soplado

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>



2.2.11 Sistemas de enfriamiento de recirculación cerrado

Sistemas que son utilizados en la industria para varias aplicaciones, en nuestro caso en las diferentes partes de las máquinas tanto de soplado como de inyección que requieran enfriamiento. Dichos sistemas se caracterizan por exigir un poco de flujo de reposición, aunque no se descartan aquellos equipos donde ocurra una pérdida substancial. El agua de reposición debe poseer una calidad de agua elevada, es decir que se debe disponer de un tratamiento externo ya sea suavización, desmineralización, entre otros. (Guzmán, 2008)

Un buen diseño de un sistema de enfriamiento cerrado permite la entrada de agua pretratada con un control adecuado en las concentraciones de sales disueltas que son capaces de producir incrustaciones. Se parte de la premisa que el mayor problema en sistemas cerrados proviene de la corrosión y deposición proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. (Guzmán, 2008)

2.2.11.1 Enfriador de agua: es un aparato industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales. La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al enfriador adonde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso. (<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>)

- **Funcionamiento del enfriador**

El enfriador básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot (Véase figura 2.5). Un fluido refrigerante en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador donde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto. Es exactamente en ese lugar donde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua. (<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>)

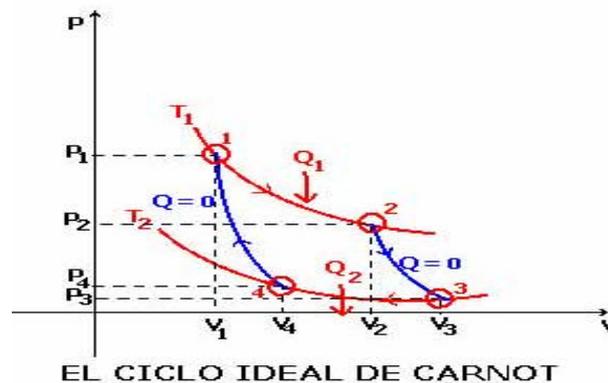


Figura 2.5. Ciclo de Carnot de un enfriador

Fuente: <http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>

Ahora el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en fase vapor, es comprimido por un compresor frigorífico obligándolo a recorrer el circuito de refrigeración. Seguidamente el refrigerante, en fase vapor, ingresa al condensador donde se convierte a fase líquida liberando el calor que sustrajo en el evaporador. Para esto, en el caso de los enfriadores condensados por aire, el calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante. (<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>)

En resumen, en el evaporador, el agua se enfría (baja su temperatura) mientras que el refrigerante se calienta (se evapora sin cambio de temperatura) en la exacta misma medida. Después, en el condensador, el refrigerante vuelve al estado líquido cediéndole calor al aire ambiente (que eleva su temperatura). Esta liberación de calor, al efectuarse en un lugar distinto al original (enfriamiento del agua), consigue un efecto neto de "movimiento de calor" del proceso al ambiente. (<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>)

Es necesario utilizar un enfriador para enfriar el molde de preformas y el molde de soplado, para asegurarse de que la máquina inyectora y la máquina moldeadora por estirado soplado trabajen a toda su capacidad durante la producción normal. Los enfriadores que recomendamos tienen un buen desempeño y una lata eficiencia a un precio moderado. El enfriador que usa agua para enfriar es más eficiente de 43

el punto de vista de costos, el enfriador por aire es más flexible en cualquier circunstancia de trabajo. La figura 2.6 muestra un enfriador que utiliza como fluido de proceso agua. El extractor se ubica en la parte superior de la unidad para los enfriadores por aire. (http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html)

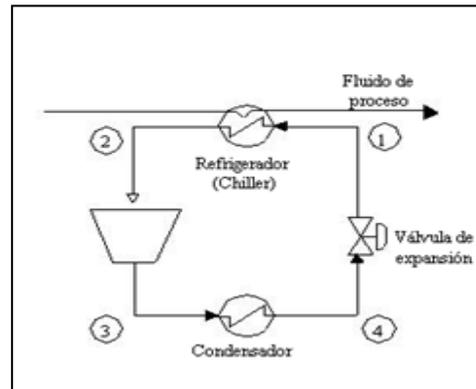


Figura 2.6. Funcionamiento general de un enfriador

Fuente: <http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>



CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En esta sección se describe detalladamente el proceso de inyección y de soplado para la producción de envases y tapas plásticas, así como también se explica el sistema de enfriamiento del agua y el funcionamiento de la zona existente para su pretratamiento.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Maggie Paul C.A., fabrica envases y tapas de plástico utilizando como materia prima polietileno de alta densidad y polipropileno, para lo cual se cuentan con un total de 28 máquinas, de las cuales 10 son de inyección de los siguientes modelos: Arburg (4) identificándose como Arburg 1, 2, 3 y 4; MIR (2), llamadas MIR 4 y MIR 3; Modula (2), identificadas como Modula 60 y Modula 100; Semeraro (1) y Sandretto que en estos momentos se encuentra en mantenimiento. Las máquinas restantes son de soplado: Meccanoplastica (9), identificadas del 1 al 9, en donde la 9 no está en funcionamiento; Comec (3), llamadas Comec 2, 4 y 6; Akei (2), conocidas como Akei 1 y 3; Uniloy (2), que son la Uniloy 2 y 4; y la Techne (2), como Techne 1 y 2.

La planta también posee 13 molinos conectados directamente en cada una de las máquinas del proceso continuo de soplado. Además, en el área de molinos se encuentran tres molinos más identificados como Comec 2, 4 y 6, los cuales no pertenecen al proceso continuo. Los Comec 2 y 4, son utilizados para triturar el material defectuoso proveniente de las máquinas de inyección y el Comec 6 para triturar el material proveniente de las máquinas de soplado. En esta misma área se encuentran 2 trompos que son usados para la mezcla de resina con el pigmento.

Para el proceso de moldeado por inyección y soplado, se requiere de la circulación del agua de enfriamiento a través de los canales de los moldes, con el fin mantener un rango de temperatura idónea entre (8-10) °C para soplado y (12-14) °C para inyección, para lo cual se cuenta con un sistema de enfriamiento cerrado

compuesto por cuatro enfriadores, en donde la tubería de salida de cada uno de dichos enfriadores se conectan en una única tubería de entrada a la planta por donde circula el agua de enfriamiento hacia las máquinas, impulsada por dos bombas conectadas en paralelo. Además, se cuenta con un área de pretratamiento de agua conformada por un filtro de arena, un filtro de carbón activado y un suavizador. Finalmente, existe un sistema dosificador de químicos (anticorrosivo y desinfectante), el cual es automático, controlado por un temporizador, conectado a dos bombas, una para cada reactivo, el cual se activa durante un período de dos horas cuatro veces a la semana, dosificando actualmente 6 litros a la semana de anticorrosivo y 5 litros de desinfectante, aunque estos valores se han cambiando en varias oportunidades durante el desarrollo de esta investigación.

3.2 PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. (Mérida, 2005)

Las máquinas de inyección constan de distintas etapas en su labor, determinadas por sus partes básicas mostradas en la figura 3.1, como lo son: tolva de alimentación de la resina sólida, barril de calentamiento, boquilla, guarda de seguridad, molde, sistema de cierre y el tablero de control.

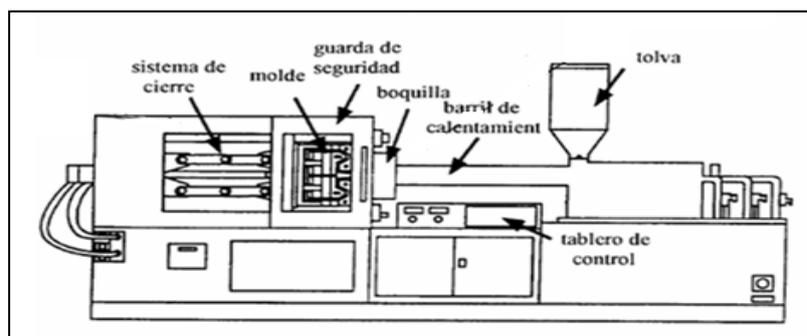


Figura 3.1. Máquina de moldeo por inyección
Fuente: Mérida, (2005).



3.2.1 Alimentación de la materia prima.

Maggie Paul C.A., utiliza polietileno de alta densidad y polipropileno, conocidas como PEAD 2710 y PP J700, respectivamente; y se trabaja entre una temperatura de 190 y 250°C, mezclándose en algunos casos con colorantes (conocidos en la planta como masterbach), para la producción de sus tapas. La alimentación de esta materia a las máquinas en la mayoría de los casos es manual, solo en una de las máquinas el colorante es alimentado automáticamente. Por lo tanto, el operario es el encargado de transportar los sacos de 25 kg de la resina hasta la tolva de la máquina.

3.2.2 Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan tornillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. Este tornillo cuenta con un barril de calentamiento, en donde se aplican altas temperaturas para poder fundir la resina y así poder inyectar la resina fundida. Este barril actúa como un pistón y toda la unidad como un embolo que empuja el material.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo tornillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. (Mérida, 2005).

3.2.3 Unidad de moldeo

Al iniciarse la inyección a alta presión, las dos mitades del molde se cierran para recibir la resina fundida, en dicho molde se forma la pieza y mediante un sistema de enfriamiento se endurece la misma. Dicho sistema de enfriamiento está unido a ambas mitades por medio de válvulas y mangueras que son manipuladas por el personal mecánico, él cual regula el caudal del agua para asegurar un correcto enfriamiento de la pieza y de esta manera, evitar la presencia de deformaciones en los envases y/o tapas plásticas. Una vez enfriada la pieza, las

mitades de los moldes se separan y permiten la salida de la pieza final, cayendo ésta directamente en la cesta donde las operarias las ordenan en cajas y luego las paletizan según la especificación de empaque.

3.3 PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO

En ingeniería, el moldeo por soplado es un proceso por medio del cual se producen objetos de plástico huecos, como botellas. Es un proceso semicontinuo que incluye dos pasos, la extrusión del polímero fundido a través de un dado especial con un perfil tubular llamado párison y el inflado de este tubo en un molde, del cual toma la forma final el polímero extruido.

En la figura 3.2 se muestra el funcionamiento del proceso de soplado que consta de las siguientes etapas: soplado de aire, dosificación de plástico, adaptación del plástico al molde y creación del objeto moldeado.

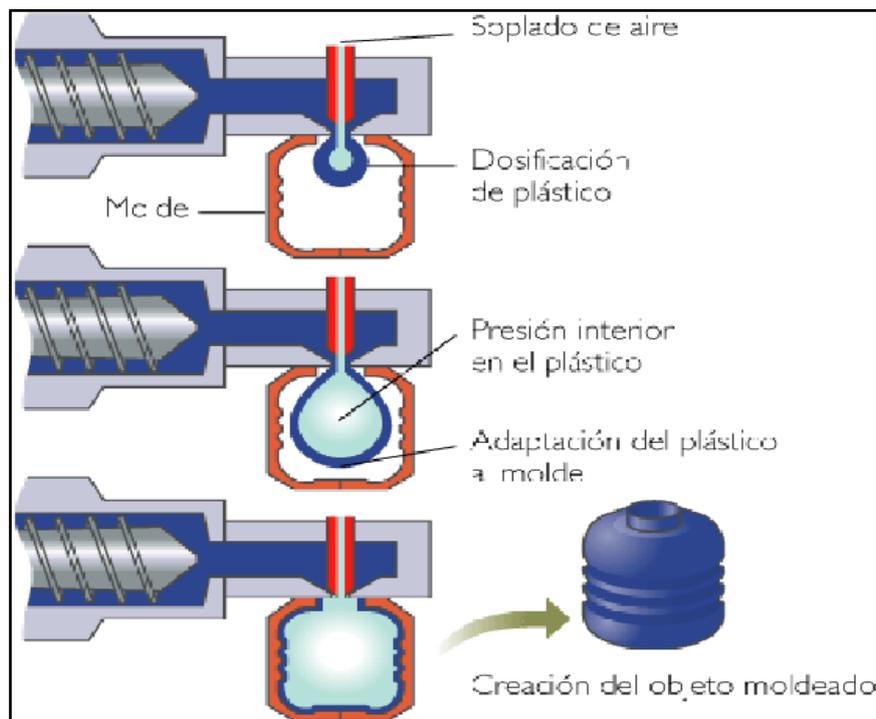


Figura 3.2 Funcionamiento general de la máquina de soplado.

Fuente: http://ve.kalipedia.com/tecnologia/tema/materiales/moldeo.html?x=20070822klpingtcn_42.Kes&ap=2



3.3.1 Alimentación de la materia prima

En las máquinas de soplado la materia prima utilizada es sólo polietileno de alta densidad (PEAD), en dos presentaciones PEAD 6200 y PEAD 3200, trabajando entre un rango de temperatura de 175 °C a 220°C. Dependiendo del envase que se vaya a fabricar, se usa un colorante, por cada 25 kg de la presentación de la resina se le dosifica un porcentaje de pigmentación para obtener el color deseado en la pieza. La alimentación de este material se realiza en la mayoría de los casos de forma automática, el operador solo coloca en tambores los sacos de resina virgen y en otro tambor se encuentra el remolido de la máquina, usando como alimentación 60% de resina virgen y 40% de remolido.

3.3.2 Unidad de cierre o moldeo

El molde para el proceso por soplado es similar al del moldeo por inyección, pero requiere una fuerza de cierre mucho menor, además requiere de entrada de aire para inflar el párison extruido en forma de tubo. El molde consiste en dos partes que al cerrarse encierran el párison, este tubo al inflarse toma la forma del molde y queda estable la forma al enfriarse el material. Una vez que la fabricación de la pieza está completa, las mitades del molde se separan y permiten la salida de dicha pieza, que se traslada por una banda transportadora hasta llegar a una cesta donde las toman las operarias y las paletizan de acuerdo a la especificación del empaque.

En el proceso tanto de inyección como de soplado, la pieza finalmente terminada, antes de ir a almacén pasa por una etapa de control de calidad, donde distintas inspectoras verifican la calidad de la pieza, tomando en consideración el aspecto dimensional y los atributos del producto. Por ejemplo, se mide la altura, diámetros, peso, ancho y espesor y además, se realiza una inspección de la apariencia del envase tales como rebaba, humedad, orificios y líneas superficiales. En cuanto a las tapas se mide diámetros, altura y peso y de acuerdo a los atributos de las tapas se toma en consideración la humedad, rebaba y material defectuoso o incompleto. De acuerdo a lo anteriormente explicado, con las diferentes pruebas



realizadas se verifica la eficiencia de las máquinas, observando que las diversas variables cumplan con la especificación requerida.

3.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Como se ha mencionado anteriormente, con el fin de disminuir la temperatura de los moldes, mantener la temperatura del aceite en las máquinas, evitar el recalentamiento de los pines y cabezal de soplado, se utiliza para ello, un sistema de enfriamiento que se encuentra instalado en la planta, el cual consta de cuatro enfriadores, conectados en paralelo.

El agua es utilizada como medio refrigerante, la cual es pasada por un sistema de pretratamiento llegando al tanque de almacenamiento 2, en donde se le dosifican químicos (anticorrosivo y desinfectante), posteriormente por medio de un sistema de bombeo se manda el agua a los cuatro enfriadores.

El aceite utilizado en las máquinas de soplado pasa a través de un intercambiador de calor que emplea el agua de enfriamiento para mantener la temperatura de aceite en 35°C. Este sistema de enfriamiento del aceite es individual para cada máquina y, luego de dicho intercambio térmico, el agua se desplaza a través de la red de tuberías en donde se une con el agua empleada para el enfriamiento de la máquina para ser retornada al tanque de almacenamiento 2.

3.4.1 Sistema de enfriamiento cerrado

El sistema de enfriamiento cuenta con un sistema de bomba, tanque y enfriadores de agua y posee un circuito de tuberías que distribuyen el agua de enfriamiento por toda la planta.

El enfriador básicamente opera de la siguiente manera: el refrigerante R-22 en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el evaporador, en donde se le retira calor al agua, con la que indirectamente se pone en contacto. Aquí se produce el enfriamiento del agua. Luego ésta sigue al proceso por el circuito y el refrigerante en estado de vapor, es

comprimido por un compresor frigorífico obligándolo a recorrer el circuito de refrigeración.

Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador en donde se convierte al estado líquido liberando el calor que tomó en el evaporador. Condensados por aire, el calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante. (<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>)

El agua que se produce es helada con una temperatura entre 5 °C y 10 °C, la cual es enviada por medio de una red de tuberías hacia la planta. Una vez utilizada en cada una de las máquinas de la planta, es retornada hacia el tanque de almacenamiento 2 para luego ser nuevamente bombeada a los enfriadores. Dicha agua está en constante recirculación y no sufre pérdidas al menos que el sistema presente una falla menor que requiera que la tubería por donde circula el agua, sea manipulada.

En la figura 3.3 se muestra el funcionamiento general de un enfriador.

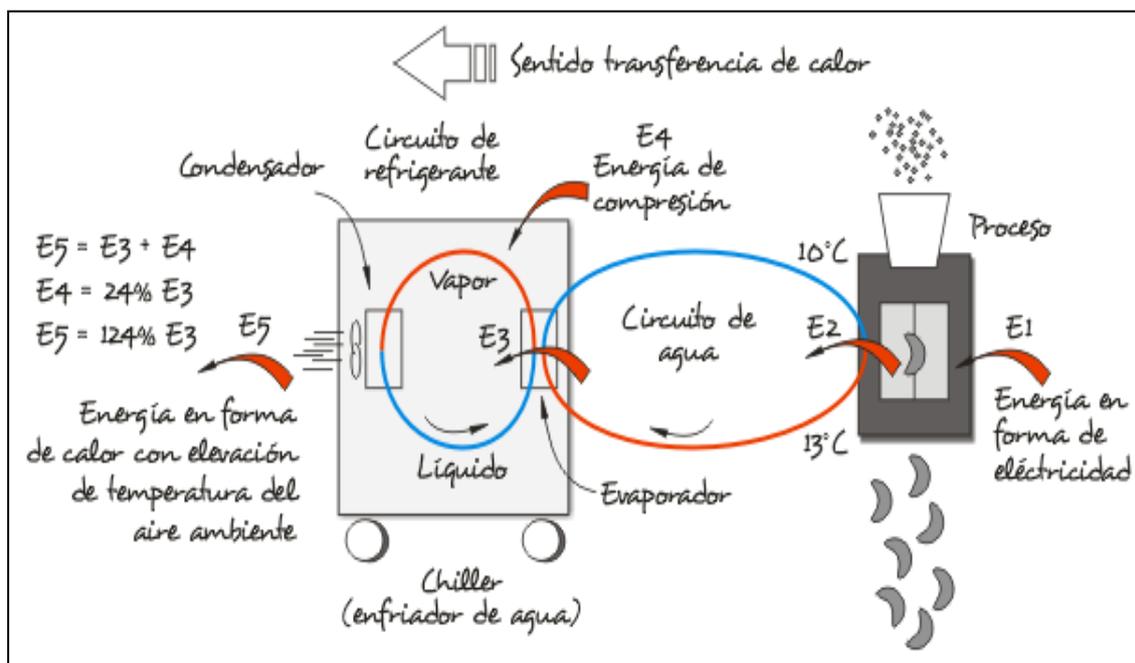


Figura 3.3. Funcionamiento general de un enfriador.

Fuente: <http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>



3.4.2 Zona de pretratamiento existente para el agua cruda del proceso.

En esta sección se explica detalladamente la dirección del flujo del agua de proceso en condiciones de operación y el funcionamiento de cada uno de los equipos existentes en la zona de pretratamiento del agua cruda. De igual manera se explica cual es el procedimiento adecuado para llevar a cabo la limpieza y enjuague de cada equipo y además, se muestra en la figura 3.4 un diagrama de tuberías e instrumentación para esta zona.

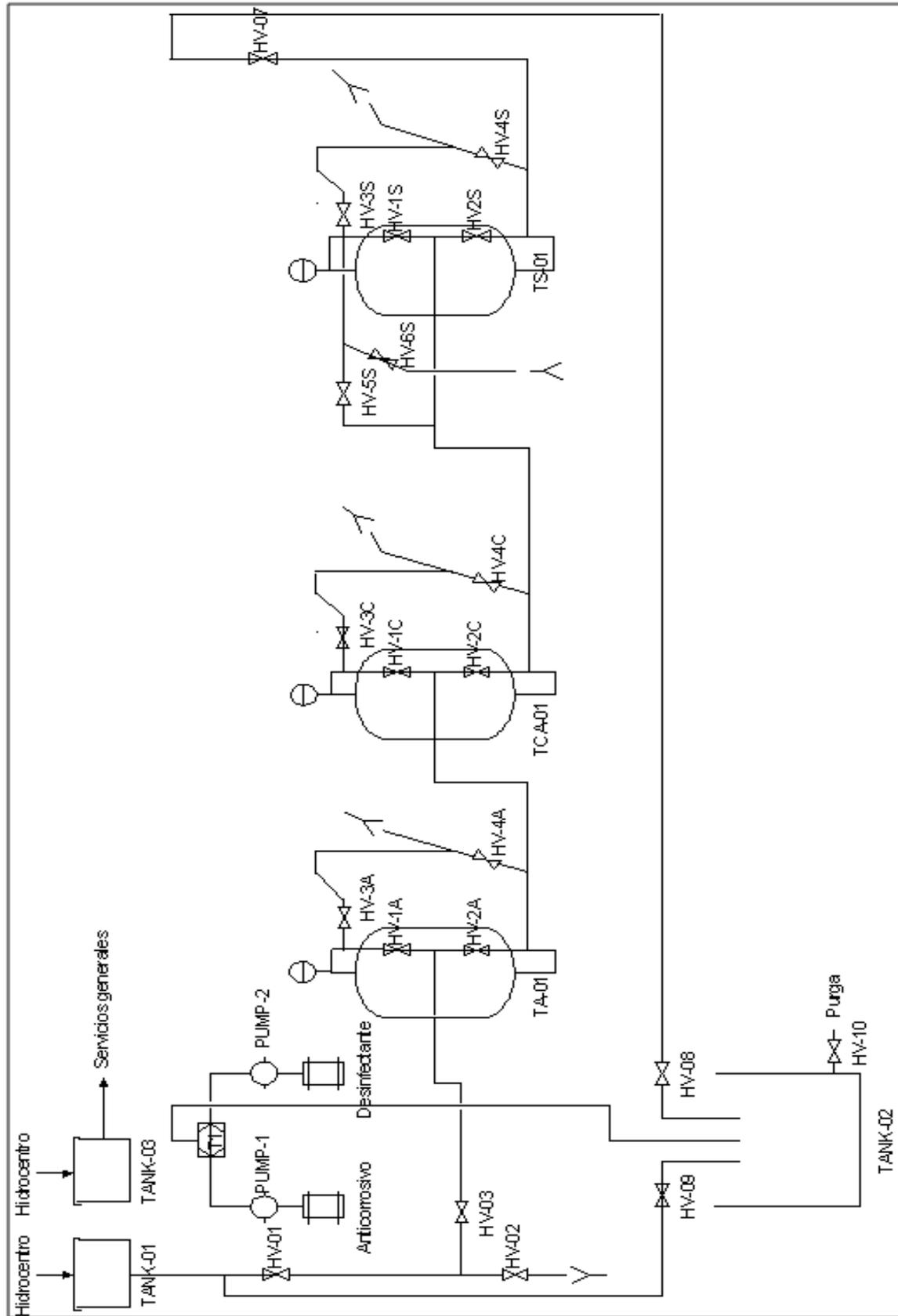


Figura 3.4. Diagrama de tuberías e instrumentación del sistema de pretratamiento de agua de la planta procesadora de plástico.



3.4.2.1 En condiciones de operación.

- **Filtro de arena**

El agua cruda del proceso es proveniente del tanque 1 tal como se muestra en la figura 3.4, en donde se hace pasar esta agua a través de un filtro de arena con el fin de eliminar los sólidos suspendidos. La parte interna de éste equipo consiste en una capa múltiple de arena con una variedad de tamaño y gravedad específica que cuando el agua atraviesa al filtro, los sólidos suspendidos precipitan en la arena quedando como residuo y en consecuencia, en el agua se reducen dichos sólidos, fluyendo la misma a través del filtro.

La operatividad del filtro depende de la cantidad del material acumulado dentro del mismo, siendo que a mayor volumen de sólidos retenidos, mayor es la caída de presión dentro de dicho filtro, puesto que la distancia entre las partículas disminuye su tamaño y por ende la velocidad a través de los mismos aumenta. Este fenómeno puede ocasionar que los sólidos a retener vayan penetrando las capas inferiores del filtro, hasta el punto en que las impurezas puedan llegar a atravesar el mismo. Es por esta razón, que es necesario una limpieza periódica y efectiva de estos filtros, para lo cual lo más usual es el retrolavado, el cual consiste en hacer circular agua, en sentido contrario al de la operación normal del filtro y a un caudal que no debe ser inferior al doble del caudal normal de operación. En este proceso, los sólidos depositados sobre el material filtrante son expulsados por la parte superior del filtro, que mediante un juego de válvulas van a parar a un desagüe. (<http://www.cenproaca.com/Filtracion.htm>)

Es decir, cuando los filtros se cargan con las partículas se invierte la dirección de filtración para regenerarlo pero posteriormente se explicará con detalle el procedimiento adecuado para la limpieza de los equipos existentes para el pretratamiento del agua de la empresa Maggie Paul, C.A. Los sólidos suspendidos más pequeños tienen la capacidad de pasar a través de un filtro de arena y por ende, a menudo se requiere la filtración secundaria.



- **Filtro de carbón activado**

Luego el agua que fluye por el filtro de arena pasa a través de la válvula HV-1C en el diagrama mostrado en la figura 3.4, para entrar al filtro de carbón activado (TCA-01) y circular por el interior de éste equipo de arriba hacia abajo a fin de tener una menor caída de presión, a consta de una disminución sustancial de la capacidad de filtración.

Los filtros de carbón activado son utilizados como complemento del filtro de arena en el tratamiento de aguas blancas, debido a su gran capacidad de absorción de moléculas orgánicas de cadena larga. La capacidad de adsorción del carbón está íntimamente ligada al tamaño de la partícula, debido a que a menor diámetro de partícula, el área disponible para la adsorción para una misma masa de material es mayor. Por otro lado, a menor diámetro de partícula, la caída de presión aumenta, además de que las posibilidades de que el carbón activado se pierda por las descargas son también mayores.

El primer efecto de los filtros de carbón activado sería netamente mecánico de retención de partículas de diámetros relativamente grandes, lo que generalmente se obvia debido a que estos filtros se colocan después de los filtros de arena, lo que implicaría que el agua se encuentra libre de sólidos en suspensión. El efecto de absorción del carbón activado es de gran importancia, debido a que éste se encarga de eliminar, los malos olores y malos sabores del agua, mediante la eliminación de los compuestos orgánicos de cadena larga, tales como fenoles, disolventes, colorantes derivados aromáticos, etc. En cuanto al frente de agotamiento del carbón activado, este se comporta de manera lineal, saturándose primero las capas superiores y descendiendo hasta llegar al fondo. Es posible la regeneración del carbón activado mediante el calentamiento a altas presiones en ausencia de oxígeno para evitar la combustión, siendo este proceso excesivamente costoso, por lo que generalmente se reemplaza el carbón por una nueva carga.

Otra característica importante del carbón activado, es que actúa como catalizador en las reacciones de cloro libre y la cloramina con el agua, para producir



ácido clorhídrico y oxígeno en la primera reacción y ácido clorhídrico u nitrógeno en la segunda reacción. De esta manera se reduce al mínimo el contenido de cloro libre en el agua.

Al igual que los filtros de arena, los filtros de carbón poseen sistemas de distribución similares a estos, ya que el carbón se sustenta de igual manera sobre el lecho de grava. Así mismo, el sistema de retrolavado en estos filtros es el mismo, lo que permite la eliminación total o parcial del material absorbido. (<http://www.cenproaca.com/Filtracion.htm>)

- **Suavizador**

Finalmente, el agua sale del filtro de carbón activado y se desplaza a través de las tuberías hacia el suavizador, por lo que la válvula HV-1S se encuentra abierta en condiciones de operación. El proceso de suavización se realiza a través de un intercambio iónico en el que se remueven o extraen del agua, los iones de calcio y magnesio (dureza) causantes de la formación de incrustaciones en tuberías, equipos, enfriadores, válvulas, etc.

El agua dura entra al suavizador y atraviesa a la resina de arriba hacia abajo, el agua suavizada sale del tanque de resina por el tubo distribuidor hacia el tanque de almacenamiento 2, por lo que la válvula HV-08 se debe encontrar abierta en condiciones de operación. Al atravesar la resina el agua intercambia los iones de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) por iones sodio (Na^{+1}).

De acuerdo a lo anteriormente explicado, en el diagrama de la figura 3.4 en donde se muestra la zona de pretratamiento existente para el agua cruda del proceso, las válvulas HV-01, HV-03, HV-1A, HV-1C, HV-1S, HV-07 y HV-08 se encuentran abiertas en condiciones de operación. Se debe controlar la dureza del agua mediante pruebas con reactivos de tal manera de asegurar que en el tanque de almacenamiento 2 sólo se deposite agua suavizada, ya que en caso que la prueba de dureza a la salida del suavizador resulte positiva se debe llevar a cabo la regeneración de la resina conjuntamente con la limpieza y enjuague de los filtros.



3.4.2.2 Procedimiento para llevar a cabo la limpieza y enjuague de los filtros y el suavizador, así como también la regeneración de la resina.

Como anteriormente se mencionó, para una limpieza periódica y efectiva de estos filtros se lleva a cabo el retrolavado, el cual consiste en hacer circular el agua en sentido contrario al de la operación normal del filtro. Esta operación de limpieza y enjuague se debe realizar según el orden en el que se encuentran ubicados, es decir, en primera instancia se realiza la limpieza y el enjuague del filtro de arena, luego del filtro de carbón activado y finalmente el de la resina.

Para realizar el proceso de limpieza de los equipos del pretratamiento, en primera instancia se debe determinar la dureza por medio de una prueba analítica que proporciona una medida de la calidad del agua. Para llevar a cabo dicha prueba analítica se toma una muestra de agua y se valora con Ácido Etilen Diamino Tetracético (E.D.T.A.) en presencia de negro de Ericromo T (NET) como indicador, una coloración rosado intenso indica que el agua contiene más minerales que agua normal, en especial minerales de calcio y magnesio (agua dura), una coloración azul indica que el agua posee pocos minerales contenidos (agua blanda). En caso, que el agua se encuentre dura se procede a la limpieza de los equipos de la siguiente manera:

En primera instancia, se deben mantener abiertas las válvulas HV-01, HV-03 y HV-08, del diagrama que se muestra en la figura 3.4, para mantener el flujo de agua hacia la zona del pretratamiento y cerrar la válvula HV-07, de manera que en el proceso de limpieza se evite el paso de agua hacia el tanque de almacenamiento 2. Posteriormente se procede a realizar el siguiente método operatorio:

1. Abrir las válvulas HV-2A y HV-3A, para lavar el filtro de arena durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de arena controlando el flujo con la válvula HV-3A.
2. Cerrar las válvulas HV-2A y HV-3A.
3. Abrir las válvulas HV-1A y HV-4A para enjuagar hasta que el agua salga limpia o durante un tiempo aproximadamente de (1-3) min.
4. Cerrar la válvula HV-4A.



5. Abrir las válvulas HV-2C y HV-3C para lavar el filtro de carbón durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de carbón controlando el flujo con la válvula HV-3C.
6. Cerrar las válvulas HV-2C y HV-3C.
7. Abrir las válvulas HV-1C y HV-4C para enjuagar el filtro de carbón activado hasta que el agua salga limpia o durante un tiempo aproximadamente de (1-3) min.
8. Cerrar la válvula HV-4C.
9. Abrir las válvulas HV-2S y HV-3S, para lavar el suavizador durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de resina controlando el flujo con la válvula HV-3S.
10. Cerrar las válvulas HV-2S y HV-3S.
11. Abrir las válvulas HV-5S, HV-6S y HV-4S, para llevar a cabo la inyección de sal en el suavizador controlando el flujo de sal con la válvula HV-5S, durante un tiempo aproximado de (10-15) min. La cantidad de sal a usar es 7 Kg disueltos en 20 L de agua.
12. Cerrar la válvula HV-6S, para el enjuague lento de la resina durante 10 minutos.
13. Cerrar HV-5S.
14. Abrir HV-1S, para el enjuague rápido del suavizador, hasta obtener un valor de dureza de servicio.
15. Cerrar HV-4S.
16. Abrir HV-07 para permitir el flujo de agua hacia el tanque de almacenamiento 2.

De esta forma se obtienen las condiciones adecuadas para el buen funcionamiento del pretratamiento de agua cruda. Sin embargo, en el tanque de almacenamiento 2 se dosifican químicos que permiten mejorar aún más algunos parámetros fisicoquímicos característicos del agua. Por ejemplo, se agrega un anticorrosivo para proteger las superficies metálicas del proceso de degradación llamado corrosión, previniendo la precipitación de las sales de calcio y magnesio. De igual manera, se adiciona un desinfectante, el cual produce una acción biocida contra bacterias, hongos y levaduras, impidiendo el desarrollo de resistencia por parte de los microorganismos.



CAPITULO IV

4. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se presentan los aspectos correspondientes al tipo de investigación a desarrollar, así como una descripción secuencial de forma detallada de las herramientas metodológicas a emplear para el logro de los objetivos; de igual forma se describe el procedimiento utilizado, así como también se explican las técnicas empleadas en la recolección de datos y el análisis de las variables involucradas en el proceso.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto que se requiere estudiar en este trabajo, según los objetivos propuestos es del tipo proyecto factible, y es considerado así porque al final de la investigación se presenta una alternativa que contempla una mejora económica y de calidad del agua empleada para el sistema de enfriamiento cerrado que se encuentra implantado en la empresa.

Respecto a la estrategia de la investigación, se plantea un análisis de campo, ya que se recolectará información del proceso del sistema de enfriamiento cerrado para su posterior procesamiento y estudio, a fin de dar solución a los objetivos propuestos.

La presente investigación se clasifica como un estudio del tipo diagnóstico, debido a que se analiza, se identifica y se evalúa los problemas existentes para así proponer modificaciones que mejoren la eficiencia del sistema y solvente los problemas causados por la baja calidad del agua empleada en el proceso.



4.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.

4.2.1 Identificación de las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua.

Esta etapa comprende un análisis cualitativo y cuantitativo del proceso, con lo que se pretende determinar los elementos que constituyen el sistema cerrado de enfriamiento del agua, para ello se siguen los siguientes pasos:

4.2.1.1 Observación del proceso de enfriamiento.

Para la identificación de las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua, se realizaron visitas diarias a la planta, al laboratorio de calidad, revisión de los manuales existentes y consulta con el personal capacitado, para de esta manera lograr conocer los equipos, materia prima, producto terminado y variables del proceso del sistema de enfriamiento, así como también se observó detalladamente la etapa de pretratamiento del agua de enfriamiento. Una vez identificado el recorrido del flujo del agua de enfriamiento, se procedió a realizar una recolección visual de las fallas y carencias en el sistema tales como: incrustaciones en los canales de los moldes de las máquinas de producción de envases plásticos, fugas de agua, conexiones en las tuberías, accesorios, cambios en la dirección del fluido, espuma existente en el tanque de almacenamiento 2, entre otros.

4.2.1.2 Revisión bibliográfica.

Luego de conocer el proceso se realizó una búsqueda de material bibliográfico, el cual sirvió como soporte para la comprensión del proceso y los posibles métodos existentes para dar solución a los problemas que éste presente, abarcándose aspectos como: información que permitió conocer los estándares de los parámetros fisicoquímicos exigidos por el proceso y acciones que se tomaron en consideración para mantener los valores obtenidos dentro del rango de especificación. Así como también, conocer la estructura y buen funcionamiento de los suavizadores, enfriadores y demás equipos pertenecientes al sistema. Para ello se realizó una

búsqueda de antecedentes en trabajos de grado sobre temas relacionados con sistemas de enfriamiento, consultas en libros y en páginas de internet autorizadas por la universidad para la investigación científica, material disponible por la empresa, entre otros.

4.2.1.3 Identificación de las variables que influyen en el proceso de enfriamiento

A través del estudio de registros de producción, productos aprobados y rechazados, observación detallada del sistema cerrado del agua de enfriamiento y entrevistas con el personal se identifica la magnitud del problema y sus variables involucradas. Para facilitar el manejo e identificación de las variables que influyen en el sistema de manera negativa, se hizo uso de un diagrama causa-efecto (Véase, figura 4.1).

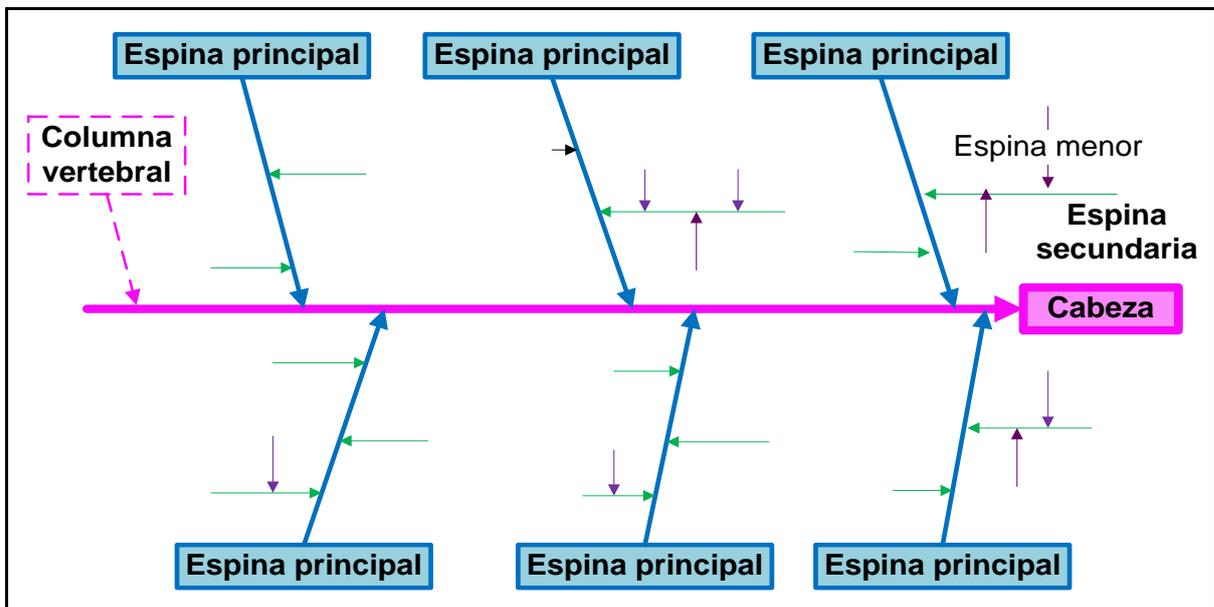


Figura 4.1 Partes de un Diagrama Causa-Efecto.

Fuente: <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>

4.2.1.4 Desarrollo del diagrama causa efecto.

De acuerdo a una revisión bibliográfica acerca de esta herramienta, se aplicó la regla de las 6 Ms, estas son: método, medición, materia prima, mano de obra,



maquinaria y medio ambiente. Mediante una tormenta de ideas se identificaron las posibles causas que pueden definir los factores que afectan de alguna u otra manera al sistema de enfriamiento, organizándolas y separándolas por categoría. Para el desarrollo del esquema del diagrama causa-efecto mostrada en la figura anterior, se siguieron los siguientes pasos:

- **Se identificó el problema:** este se planteó de manera específica y concreta de manera tal que el análisis de las causas se orientaron correctamente, evitando confusiones. Una vez que el problema se identificó correctamente, se escribió una frase corta y sencilla, en el recuadro principal.

- **Se identificaron las principales categorías dentro de las cuales se clasificaron las causas del problema:** una vez realizada la tormenta de ideas, se procedió a agrupar las variables por categorías importantes o comunes adecuadas al proceso. Cada categoría identificada se ubicó independientemente en cada una de las espigas principales.

- **Se identificaron las causas:** mediante la tormenta de ideas se identificaron las posibles causas que de alguna u otra manera influyeron en el problema identificado. Posteriormente, estas causas fueron ordenadas por categoría y se ubicaron en las espigas. Cuando una causa identificada fue muy compleja, se procedió a descomponerla en subcausas. Éstas últimas se ubicaron en las espigas menores, que a su vez confluyen en la espiga correspondiente de la causa principal.

4.2.1.5 Análisis cualitativo de cada una de las variables.

Finalmente cada una de las causas que se identificaron en el diagrama, se analizaron y estudiaron por categoría. Este análisis se refirió a una descripción detallada del por qué se cree que dicha variable afectó al problema identificado y a generar, si es necesario posibles planes de acción.



4.2.2 Caracterización fisicoquímica del agua de enfriamiento.

Esta etapa comprende un análisis cualitativo y cuantitativo del proceso, con lo que se pretende determinar los parámetros fisicoquímicos del agua de enfriamiento, para ello se siguen los siguientes pasos:

4.2.2.1 Revisión bibliográfica.

Se realizó una búsqueda de material bibliográfico, el cual sirviera como soporte para el análisis de las aguas de proceso y los posibles métodos estándares para el análisis de agua y aguas residuales (AWWA, APHA Y WEF), normas venezolanas como COVENIN, la Gaceta Oficial según el decreto N° 883 para aguas de proceso, tesis de grado relacionadas con aguas de enfriamiento, material suministrado por la empresa, entrevistas con el personal, así como también de normas internacionales como la Norma Oficial Mexicana, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" y la "Propuesta para el suministro de productos químicos para el tratamiento de aguas, torres de enfriamiento y chiller" del Hospital Materno Infantil "José Domingo de Obaldía" de la ciudad de Panamá; con el fin de tener conocimiento de los procedimientos a seguir para la captación, su estudio y conservación, así como los valores máximos aceptables y deseados para la calidad de agua requerida por el proceso; y de esta manera encontrar una solución en cuanto a la reducción de los valores de los parámetros que se encuentren fuera de los estándares establecidos.

4.2.2.2 Identificación de las distintas tecnologías para la caracterización del agua

Se realizó un estudio en los equipos que podrían ayudar a determinar la calidad del agua en la planta, para esto se tomó en cuenta personas con experiencias en tratamientos de aguas, se elaboró un cuadro comparativo de cada equipo en función de sus características y de operación.



4.2.2.3 Selección de la alternativa más adecuada para verificar la calidad del agua en sistemas de enfriamiento.

Para la selección de la mejor alternativa se tomó como punto de partida los equipos en el mercado más asequibles que permitieran medir los parámetros fisicoquímicos más influyentes en el sistema. Para ello, se empleó el método de la matriz de selección.

4.2.2.4 Elaboración de la matriz de ponderación

Para la elaboración de la matriz de ponderación, se hizo necesario el establecimiento de diferentes parámetros, para el equipo y análisis que se desean implementar en el mantenimiento de la calidad del agua. En general existen dos matrices de ponderación una para los diferentes equipos (tabla 4.1) y la otra para el análisis de dureza con diferentes proveedores (tabla 4.2).

Para cada equipo se establecieron sus principales características, en cuanto a su función con una ponderación 35%, costo con 33% y por último la operatividad con 32%. De acuerdo a dichas ponderaciones, se le asignó un valor a cada equipo según la importancia de cada una de las características o criterios, establecidos con una escala del 1 al 10, tomando como 10 la de mayor importancia y 1 la de menor importancia.

De la misma forma se realizó la otra matriz de selección pero en este caso se tomaron como criterios: el costo con una ponderación del 35%, calidad de las soluciones que componen el kit 33% y el número de pruebas con 32% que ofrecía el kit de dureza. Igualmente se le estableció una escala de importancia del 1 al 10.

Tabla 4.1. Matriz de selección del equipo

Criterios	Ponderación (%)	Equipo		
		1	2	3
Función	35			
Costo	33			
Operatividad	32			
Total	100			

Fuente: Guzmán, (2008)

Tabla 4.2. Matriz de selección del kit de dureza total

Criterios	Ponderación (%)	Proveedor		
		A	B	C
Costo	35			
Calidad	33			
Número de pruebas	32			
Total	100			

Fuente: Guzmán, (2008)

Posteriormente se multiplicó cada porcentaje por la escala correspondiente y a su vez se realiza la suma por equipo o por proveedor según sea el caso, obteniéndose así el peso de cada criterio y asimismo poder seleccionar la alternativa adecuada.

4.2.2.5 Análisis de los métodos y normas COVENIN

Con la ayuda del personal técnico del Laboratorio Central Carabobo, perteneciente a Hidrocentro C.A., se analizaron los distintos métodos y equipos que fueron utilizados para la caracterización del agua.



4.2.2.6 Captación de muestra

Fue realizado siguiendo la norma COVENIN 2709-02, para la toma de muestras de aguas naturales, industriales y residuales. Con la finalidad de llevar un adecuado registro de los datos que serán obtenidos durante el proceso de caracterización, el Laboratorio facilitó las hojas de campo que fueron utilizadas para el momento de la captación.

4.2.2.7 Realización de los análisis fisicoquímicos

Se realizó un monitoreo diario entre los meses enero-abril de 2010 de los parámetros fisicoquímicos, en diferentes puntos de la planta, tanto para el agua cruda como para la ya tratada, donde se evaluaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, total de sólidos disueltos y conductividad con el uso de un equipo multiparamétrico HI 98130, seleccionado e implementado en la empresa. Con el fin de evaluar estos parámetros de acuerdo a los cambios que se realizaron en la dosificación de los químicos y adecuando el buen uso del sistema de pretratamiento.

Con respecto a los demás parámetros, tales como: cloruros, sulfatos, pH, temperatura, nitritos, nitratos, dureza total, dureza cálcica, alcalinidad total, hierro total, conductividad específica, índice de Langelier, sólidos totales y sílice, del agua cruda, suavizada y de entrada a los enfriadores, se realizaron los análisis siguiendo las metodologías establecidas en el Método Estándar para el análisis de aguas y aguas residuales (APHA-AWWA-WEF). Esto se hizo bajo la supervisión del personal calificado de la gerencia de captación, tratamiento y mantenimiento del Laboratorio

A continuación se muestra la tabla 4.3, donde se indican los métodos aplicados para los análisis fisicoquímicos del agua.

Tabla 4.3. Métodos aplicados para los análisis fisicoquímicos al agua de la empresa Maggie Paul C.A., en distintos meses del año

Parámetro	Método	Parámetro	Método
Cloruros (mg/L)	4500-Cl ⁻ B	Dureza Cálcica (mg/L)	2320 C
Sulfatos (mg/L)	2130 B	Alcalinidad Total (mg/L)	2320 B
pH	4500-H ⁺ B	Hierro Total (mg/L)	3500-Fe D
Nitritos (mg/L)	4500-NO ₂ ⁻ B	Conductividad específica a 25°C (mmhos/cm)	2510 B
Nitratos (mg/L)	4500-NO ₃ ⁻ B	Sólidos totales (mg/L)	2540 B
Dureza Total (mg/L)	2340 C	Sílice (mg/L)	4500-Si D

Estas pruebas fueron implementadas en distintas etapas del proceso de pretratamiento de agua cruda existente y en el agua que entra a la planta, dichas pruebas son expuestas en el Capítulo V de la presente investigación.

4.2.2.8 Elaboración del reporte de los análisis fisicoquímicos.

Para la elaboración del reporte de los análisis realizados, se hace uso de una hoja de cálculo, realizada a través de una validación hecha por el personal calificado de la gerencia de captación, tratamiento y mantenimiento del Laboratorio Central Carabobo, donde se encuentra programada las distintas curvas de calibración, estos reportes fueron realizados por el personal de dicho Laboratorio.

Por otra parte, los parámetros que fueron medidos con el equipo multiparámetro HI 98130, para la elaboración del reporte se hizo uso de una hoja de cálculo, en donde se muestra el comportamiento de los parámetros medidos a lo largo del desarrollo de la investigación, por medio de diferentes gráficos.



4.2.2.9 Comparación de los resultados obtenidos con los parámetros establecidos por las normas vigentes para agua de procesos.

Una vez recopilado los valores de cada uno de los parámetros, se compararon los resultados obtenidos tanto del agua cruda como del agua tratada de los análisis fisicoquímicos, con los de la Gaceta Oficial N° 5021 decreto 883, con los valores suministrados por la empresa, con los de las Normas oficiales para la calidad del agua de Venezuela (1995), las Normas COVENIN, Norma Oficial Mexicana, la “Propuesta para el suministro de productos químicos para el tratamiento de aguas, torres de enfriamiento y chiller”; con el fin de verificar si se cumplen con las de la calidad del agua de procesos industriales. Sin embargo, para efectos de esta investigación, los parámetros estándares que mejor se ajustan a esta investigación según el tipo de agua (tipo 1A y 1B, según Gaceta oficial) son los establecidos por la Gaceta oficial n° 5021 decreto 883.

4.2.3 Establecimiento de las alternativas que permitan el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio.

De acuerdo a las variables críticas que se consideren más influyentes, es decir aquellas que tengan un alto impacto dentro de la variación o falla del sistema, las cuales deben ser seleccionadas basándose en algunos parámetros, tal como se explicó anteriormente, se establecen las alternativas que permitan el mejoramiento del sistema cerrado de enfriamiento del agua, de manera tal que se consideren los efectos no deseados que fueron analizados previamente.

4.2.3.1 Entrevistas con el personal encargado del proceso.

Se realizaron entrevistas a fin de establecer el alcance y el presupuesto del cual se disponía para el mejoramiento de la planta y los puntos más críticos que deberían ser atendidos, determinándose que la reducción de la dureza del agua y de la dosificación de químicos eran puntos esenciales para el funcionamiento del proceso y disminución de los costos operativos.



4.2.3.2 Generación de alternativas técnicas para el sistema de enfriamiento, incluyendo la etapa de pretratamiento.

Partiendo de las causas reales identificadas en los objetivos anteriores, se realizó una investigación de las nuevas tecnologías en el campo de sistema de enfriamiento y pretratamiento, mediante investigaciones o cotizaciones de algunas compañías, catálogos o páginas Web. Así mismo, se fijaron posibles mejoras de elaboración probables dentro del sistema.

4.2.3.3 Análisis de las alternativas que se pueden aplicar para el mejoramiento del sistema de enfriamiento.

Una vez planteadas las diferentes alternativas se procedió a analizar detalladamente cada una de ellas, tomando en consideración el aspecto tecnológico y económico en cuanto a: factibilidad técnica, operatividad, seguridad, y costos. De igual manera, se consideraron las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas propuestas.

4.2.4 Seleccionar la alternativa más adecuada que permita reducir costos y proveer el mejor índice de beneficios en el desempeño del sistema.

Para la selección de la mejor alternativa se tomó como punto de partida los resultados obtenidos en las pruebas a nivel de laboratorio. Se empleó el método de la matriz de selección para obtener la mejor alternativa planteada de acuerdo a los requerimientos del proceso.

4.2.4.1 Establecimiento de los criterios de ponderación.

Luego de desarrollar las posibles alternativas de mejora, en la sección 5.3 se realizó una matriz de selección, en la cual se definen los criterios a evaluar para la selección de la propuesta más adecuada según Peña (2005), los cuales se explican a continuación:



- **Receptividad de la empresa:** es la aceptación que tiene la empresa de aplicar o no la alternativa planteada, este es un factor de gran importancia, ya que la empresa es quien va a aportar los recursos para poder llevar a cabo los cambios planteados, de acuerdo si se considera que los beneficios que pueda aportar la mejora son los esperados.

- **Costos operacionales y de instalación:** es el factor de mayor importancia, debido a que de estos depende la rentabilidad del proyecto, ya que si los costos operacionales y de instalación de cada una de las alternativas planteadas son mayores a los beneficios que se puedan obtener al aplicar la misma no se vería sentido en llevar a cabo dicha mejora.

- **Tiempo:** el tiempo se estableció como criterio de selección debido a que en la planta se opera continuamente y por lo tanto al aplicar un cambio en el sistema, se pueden realizar paradas en las máquinas, lo cual generaría un atraso en la producción, ocasionando así pérdidas para la empresa; sin embargo, este no es un aspecto determinante ya que realizándose una planificación adecuada se pueden aplicar todos los cambios posibles, que a fin de cuentas generaría mejoras en el sistema.

- **Aprovechamiento de los equipos existentes en el sistema:** este criterio se debe de tomar en cuenta debido a que si se utiliza la mayor cantidad de equipos existentes en el sistema, los costos no se incrementarían en gran medida y por lo tanto, sería más viable la aplicación de la mejora al proceso.

- **Accesibilidad de los equipos y recursos necesarios para su instalación:** este criterio viene referido a las posibilidades de alcance que se tiene en cuanto a equipos, accesorios, capital y mano de obra para poder implementar las mejoras en el sistema.

4.2.4.2 Elaboración de la matriz de selección.

Una vez determinados los criterios que se van a tomar en consideración para la toma de decisiones se procede a realizar la matriz de selección según Chang (1999), de acuerdo a los siguientes pasos:

- **Determinación de la importancia relativa de cada criterio:** se otorgó a cada criterio un porcentaje de valor, el cual representó su importancia relativa. Para ello se realizó la siguiente pregunta: “¿Cuán importante es cada uno de los criterios en relación con los demás?”, tomando en consideración que el total de los valores asignados para la totalidad de los criterios fue igual a 100 por ciento, ya que la efectividad del proceso de calificación de criterios depende fundamentalmente de la ponderación que se le asignó a cada uno de ellos. En la tabla 4.4, se muestra el modelo de la matriz utilizado para la selección.

Tabla 4.4. Matriz de selección incluyendo los valores de la calificación de criterios.

Criterio	Calif.	Propuestas		
		Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Receptividad de la empresa	35 %			
Costos operacionales y de instalación	25 %			
Tiempo	15 %			
Aprovechamiento de equipos existentes	15 %			
Accesibilidad	10%			
Total	100%			

Fuente: Guzmán, (2008)



- **Establecimiento de una escala de medición, en donde se asignó un puntaje a cada propuesta:** se utilizó una escala de puntajes coherente para comparar entre sí las diversas propuestas respecto de su cumplimiento con cada uno de los criterios adoptados. Para este caso se determinó: 1-cumplimiento mínimo y 10-cumplimiento máximo.
- **Cálculo del puntaje final:** se multiplicó la valoración establecida para cada criterio por el puntaje asignado a cada propuesta y se escribió la cifra entre paréntesis en los casilleros apropiados del formulario de calificación de criterios o matriz de selección. Finalmente se sumaron los números entre paréntesis para cada propuesta y se escribieron los totales en los casilleros correspondientes.
- **Selección de la mejor propuesta:** se seleccionó la propuesta que tenga mayor puntaje. Esta opción pudo o no ser la que finalmente se eligió aunque en principio debió ser la mejor. Cuando fue necesario, se repitió el proceso.

4.2.5 Determinación de la relación costo beneficio de la alternativa seleccionada.

Esta sección se fundamentó en la introducción de criterios de rentabilidad económica que permitieron establecer si la propuesta es rentable o no, basada en la producción de envases plásticos.

4.2.5.1 Costos.

En primera instancia se procedió a estimar los costos de inversión necesarios para el estudio económico por un periodo de tiempo de un año, en el cual se evaluaron los costos asociados a la adquisición del equipo multiparamétrico HI98130 y el kit para medir dureza. Además, se tomó en consideración los costos asociados a la fabricación de la tapa de la parte superior del tanque de almacenamiento 2.



Para el cálculo del costo neto asociado a la propuesta seleccionada, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$C_n = \sum_{i=1}^y C_i \quad (III)$$

Donde:

C_n : Costo neto de implementación de la propuesta (Bs)

C_i : Costos (Bs)

y : Número de costos (Adim)

4.2.5.2 Beneficios asociados a la propuesta seleccionada.

Los beneficios asociados a la propuesta implementada vienen referidos al ahorro de dinero que generan el ajuste de la dosificación de los químicos, el cambio de proveedor y la reducción de paradas de planta.

Para el cálculo del ahorro anual que se tiene en cuanto al ajuste de la dosificación de los químicos, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$B_{adq} = (C_{pa} - C_{dr})Bs/año \quad (IV)$$

Donde:

B_{adq} : beneficio obtenido por ajuste en la dosificación de químicos (Bs/año)

C_{pa} : costos asociados a la dosificación recomendada por el proveedor actual (Bs/año)

C_{dr} : costos asociados a la dosificación recomendada según la propuesta seleccionada (Bs/año)

En cuanto al cambio de proveedor se toma en consideración, que el proveedor actual no realiza las caracterizaciones mensuales del agua de proceso desde el mes de noviembre de 2009 y por ende, la empresa realizó las caracterizaciones en un laboratorio externo. Mientras que, el proveedor propuesto realiza la caracterización



mensual del agua de enfriamiento sin ningún costo adicional a la compra de los químicos. Para ello, se tiene que:

$$B_{cp} = (C_{CHid} - C_{Cps})Bs/año \quad (V)$$

Donde:

B_{cp} : beneficio obtenido por el cambio de proveedor (Bs/año)

C_{CHid} : Costos asociados a la caracterización del agua de enfriamiento según los precios ofrecidos por Hidrolab (Bs/año)

C_{Cps} : Costos asociados a la caracterización del agua de enfriamiento según el proveedor seleccionado (Bs/año)

La sumatoria de los beneficios que genera el cambio de proveedor y el ajuste en la dosificación de los químicos, representa el ahorro neto de la propuesta seleccionada, según la siguiente ecuación:

$$B_n = B_{adq} + B_{cp} \quad (VI)$$

Donde:

B_n : Beneficio neto (Bs/año)

Una vez establecidos los costos y los beneficios, se procede al cálculo de la relación entre estos para un período de tiempo de un año, de la siguiente manera:

$$R = \frac{B_n}{C_n} \quad (VII)$$

Donde:

R: relación costo-beneficio (Adim)

Finalmente se procede a analizar el resultado obtenido, bajo el siguiente criterio: si $R > 1$, la propuesta seleccionada es rentable.



CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados y discusión de cada uno de los objetivos planteados para el mejoramiento del sistema cerrado del agua de enfriamiento empleada para la producción de envases plásticos, así como también las posibles causas que justifiquen el comportamiento de los equipos. Además, se describe el planteamiento y la selección de las diferentes alternativas de solución para los problemas bajo estudio, actualmente existentes en planta, analizando para dicha alternativa la relación costo-beneficio.

5.1 Identificación de las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua.

5.1.1 Observación del sistema de enfriamiento

Para la identificación de las condiciones actuales de los parámetros y variables que intervienen en el proceso de enfriamiento del agua se realizó inicialmente, una inspección visual del proceso de producción de envases plásticos y una observación detallada de cada fase que interviene en el proceso de enfriamiento del agua, con el fin de reconocer los equipos pertenecientes al sistema y el funcionamiento de cada uno de estos equipos. De igual manera, se identificó el recorrido del flujo del agua de enfriamiento y se procedió a realizar una recolección visual de las fallas y carencias en el sistema tales como: incrustaciones en los canales de los moldes de las máquinas de inyección y soplado, espuma existente en el tanque de almacenamiento 2, alta dosificación de químicos al agua de proceso, el sistema de pretratamiento instalado en planta no estaba siendo utilizado si no que se alimentaba agua cruda al sistema, los parámetros fisicoquímicos del agua de proceso no estaban siendo monitoreados, el tanque de almacenamiento 2 donde se almacena el agua tratada se encuentra abierto al ambiente, no se estaban realizando las purgas requeridas por el sistema, entre otros.



De acuerdo a la recolección visual de las fallas y carencias existentes en el sistema, las incrustaciones presentes en los canales de los moldes de las máquinas de inyección y soplado presentes en planta para la producción de envases y tapas plásticas, se consideran en este trabajo de investigación de gran importancia, ya que este factor ha venido afectando de manera progresiva la eficiencia del sistema. Esto se debe a que dichas incrustaciones, las cuales son causadas por la precipitación de compuestos tales como las sales de Ca^{+2} y Mg^{+2} , que se vuelven insolubles a temperaturas más altas cuando ocurre la evaporación del agua, han generado obstrucciones en las galerías internas de los canales de los moldes, ocasionando interferencias en la transferencia de calor que se necesita para disminuir la temperatura del plástico, debido a que dichas incrustaciones actúan como una resistencia térmica, a causa de una disminución del diámetro interno de las tuberías o bien un aumento en el espesor de las mismas, lo que trae como consecuencia que la variable caudal también se vea afectada en gran medida, ya que, al disminuir el diámetro interno de las tuberías se obtiene menor caudal a lo requerido por el sistema. Por lo tanto, la presencia de las incrustaciones disminuye el tiempo de vida útil de los moldes y equipos, incurriendo además en costos asociados por las paradas y mantenimientos realizados. Según lo explicado anteriormente, se requiere rediseñar el sistema de tratamiento del agua de proceso y adecuar la dosificación de químicos como una alternativa que permita el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio.

5.1.2 Identificación de las variables que influyen en el proceso de enfriamiento.

Para facilitar el manejo e identificación de las variables que influyen en el sistema de manera negativa, se hizo uso de un diagrama causa-efecto tal como se muestra en la figura 5.1 del presente capítulo. Mediante una tormenta de ideas se identificaron las posibles causas que pueden definir los factores que afectan de alguna u otra manera la calidad del agua de enfriamiento, organizándolas y separándolas por categoría, con la finalidad de realizar un análisis que permita disminuir en número de variables que se estudian en el proceso.

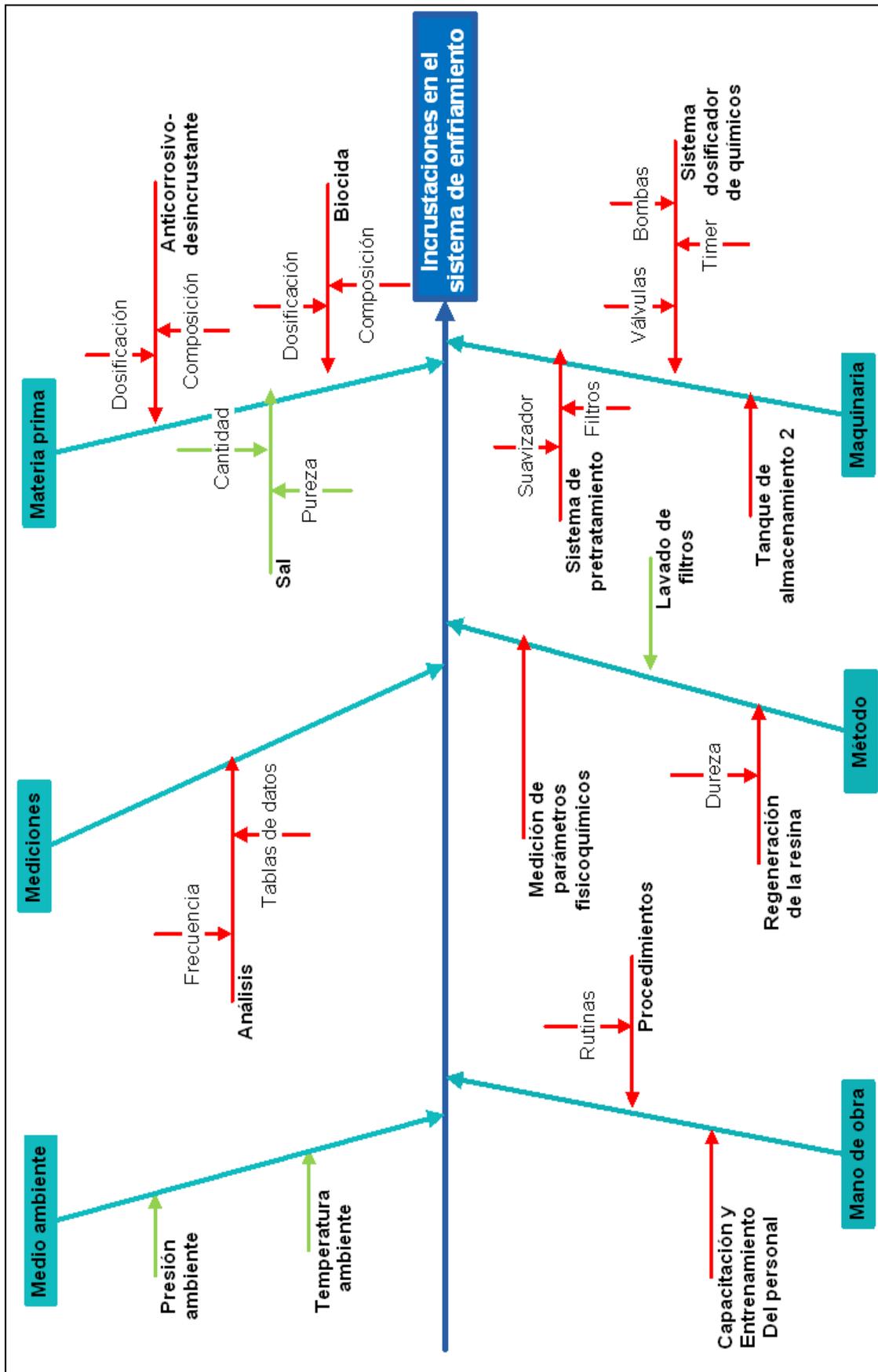


Figura 5.1 Diagrama causa-efecto.



5.1.2.1 Medio ambiente: la presión y la temperatura ambiente son variables que se consideraron en este estudio, pero no son relevantes, ya que no es posible ejercer una acción correctiva sobre el clima de la zona y por lo tanto, el medio ambiente se descartó como una causa a analizar a profundidad.

5.1.2.2 Mediciones: los valores de los parámetros fisicoquímicos influyen en la operación del proceso, ya que de dichas mediciones dependerá la manipulación de otras variables. Por ejemplo, del valor del pH, la conductividad y el total de sólidos disueltos dependerá la realización de las purgas del sistema y el ajuste de la dosificación de los químicos, entre otros. Es por ello que el factor medición se consideró una variable a tomar en consideración para el estudio del diagrama causa-efecto y a continuación se explica brevemente la problemática encontrada durante el desarrollo de la investigación con respecto a esta variable: en primera instancia, es necesario mencionar que el sistema de enfriamiento implementado en Maggie Paul, C.A. fue realizado por otra empresa especializada en tratamientos de aguas industriales, quienes son los proveedores de los químicos utilizados para tratar el agua de proceso y además, los responsables de caracterizar dicha agua mensualmente y facilitar el reporte al personal capacitado de la empresa. Sin embargo, en el mes de enero, se realizó una inspección de estos reportes y debido a las irregularidades que se observaron, tales como diversos cambios en los valores estándares de los parámetros fisicoquímicos requeridos por el sistema, así como también valores fuera de norma que no eran reportados en las observaciones, se decidió plantear frente al proveedor dicha problemática, quienes sin dar respuesta a lo sucedido, a partir del mes de enero no continuaron con las caracterizaciones mensuales del agua de enfriamiento. Además, el laboratorio de aseguramiento de la calidad no contaba con los equipos y reactivos necesarios para realizar la caracterización del agua de proceso.

En consecuencia, el factor medición promovió la formación de incrustaciones en el sistema de enfriamiento, ya que, la ausencia de un monitoreo continuo de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua generó un aumento sustancial de estos valores con respecto a lo requerido por el sistema. Por ende, este factor ejerce



una influencia relevante en el estudio del diagrama causa-efecto para las propuestas de mejora del sistema de enfriamiento.

5.1.2.3 Materia prima: la calidad del agua que se requiere para evitar las incrustaciones en el sistema de enfriamiento depende del tratamiento que se lleve a cabo y del buen funcionamiento del mismo. Es por ello, que en este factor se estudia la cantidad y calidad de sal a emplear para la regeneración del suavizador y la composición y dosificación de los químicos utilizados.

- **Cantidad y pureza de la sal:** al realizar el lavado y enjuague de los filtros y además la regeneración de la resina se debe ajustar adecuadamente la cantidad de sal (NaCl) a utilizar, ya que una alta concentración de la misma genera la presencia de iones cloruros disueltos en el agua, lo cual trae como consecuencia un aumento en el total de sólidos disueltos y por ende la realización de mayor cantidad de purgas en el sistema, lo que se traduce en pérdidas económicas. A su vez, una concentración baja de sal para la regeneración del suavizador genera que el intercambio de los iones no se lleve a cabo en su totalidad y por ende, exista la presencia de iones de calcio y magnesio disueltos en el agua, quienes son los principales responsables de las incrustaciones en el sistema. Según los datos técnicos del suavizador, la cantidad de sal a emplear fue 7 Kg sal por 20 L de agua para llevar a cabo la regeneración de la resina y con los resultados obtenidos en la caracterización a la salida del suavizador se constató que esta variable no afecta la presencia de incrustaciones en el sistema. Por ende, este factor se descartó para la formulación de propuestas que mejoran el proceso.

- **Dosificación y composición del biocida:** la dosificación y composición del desinfectante es de vital importancia para obtener la calidad del agua requerida por el sistema de enfriamiento, ya que, debido a su composición, una alta dosificación de este químico generó espuma en el sistema, lo que trajo como consecuencia que el proceso de transferencia de calor del plástico hacia el agua como fluido de enfriamiento no fuese eficiente, ocasionando así recalentamiento de los moldes de las máquinas de inyección y soplado, de las bombas y de los evaporadores. A su



vez, una baja dosificación del biocida favorece la formación de vida microbiana en el agua de proceso.

- **Dosificación y composición del anticorrosivo:** una alta dosificación del anticorrosivo, debido a su composición a base de nitritos, generó una alta concentración de dichos nitritos disueltos en el agua, lo que trajo como consecuencia un incremento en el valor de total de sólidos disueltos y por tanto, la realización de mayor cantidad de purgas en el sistema, lo que se traduce en pérdidas de dinero para la empresa. A su vez una baja dosificación del anticorrosivo a lo requerido por el sistema favoreció la formación de incrustaciones en los canales de los moldes de inyección y soplado, en los evaporadores y condensadores, a lo largo de las tuberías del sistema y por lo demás equipos por donde se transporta el fluido de enfriamiento, trayendo como consecuencia una disminución en el flujo de agua de enfriamiento y ocasionando interferencias en la transferencia de calor, debido a que dichas incrustaciones actúan como una resistencia térmica y por ende, disminuye la eficiencia del sistema.

Por lo explicado anteriormente, la dosificación de los químicos afectó la formación de incrustaciones en el sistema y por lo tanto se consideró en el estudio del diagrama causa-efecto, para de esta manera lograr definir claramente las cantidades de estos químicos a utilizar. Además, se recomendó un cambio de proveedor que garantizara productos en los que la composición de dichos químicos sea más favorable, evitando la generación de espuma y el aumento excesivo de nitritos.

5.1.2.4 Maquinaria: este factor viene referido al buen estado y funcionamiento de todos y cada uno de los equipos que conforman al sistema de enfriamiento del agua. Por ello, es necesario evaluar las condiciones actuales de cada equipo, identificando detalladamente los problemas que se presentan en cada uno de estos equipos, así como también las posibles consecuencias que acarrearán las fallas identificadas. De acuerdo a lo anteriormente mencionado se realizan propuestas de solución para el mejoramiento de la calidad del agua del sistema de enfriamiento que actualmente opera en la planta de Maggie Paul, C.A.

- **Sistema dosificador de químicos:** Este sistema consiste en dosificar el anticorrosivo y el biocida por medio de dos bombas centrífugas (una para cada químico), en las cuales el flujo de químico puede ser regulado por medio de una perilla ubicada en la parte inferior derecha de cada bomba. Ambas bombas, regulando las perillas al 100 %, dosifican un caudal igual a 2 L/h, las cuales se encuentran conectadas a un único temporizador programado para dosificar cuatro veces a la semana durante un período de dos horas, es decir, cuando uno de los cuatro pines sobresalientes caen en el orificio del temporizador se dosifican los químicos de acuerdo al porcentaje que se encuentre regulado durante dos horas. Por ser un sistema por carga, luego de estas dos horas la dosificación se detiene y se vuelve a activar una vez que el siguiente pin caiga en el orificio del temporizador antes mencionado. Los químicos se desplazan a través de unas mangueras de plástico que en cada extremo tienen conectada una válvula de control. En la siguiente figura 5.2, se muestra el sistema dosificador de químicos instalado en planta:



Figura 5.2 Sistema dosificador de químicos instalado en Maggie Paul, C.A.

Debido a la presencia de incrustaciones en los canales de los moldes en el mes de diciembre y los resultados obtenidos en las caracterizaciones del agua de enfriamiento durante el desarrollo de esta investigación se realizaron diversos cambios en el ajuste de la dosificación de los químicos y se observó el



comportamiento de la conductividad, total de sólidos disueltos y pH bajo estos cambios. Sin embargo la problemática de los valores fuera de estándares continuó sin ser solventada. Para el mes de marzo se observó que la válvula de control por donde se suministra el anticorrosivo al tanque se encontraba obstruida en la salida y por lo tanto, se procedió a repararla. Además, para esta misma fecha, se observó que el temporizador se encontraba dañado. Esto trajo como consecuencia la dosificación continua de los químicos, llegando a consumirse los contenedores de estos fluidos en un tiempo record de dos semanas, generando así altas concentraciones en el agua de proceso, sustentando de esta manera los valores altos obtenidos en la caracterización del agua de enfriamiento. Por ende, se recomendó cambiar el temporizador, ya que en los últimos meses se ha hecho una dosificación manual de los químicos para el ajuste de los valores de los parámetros fisicoquímicos requerido por el sistema. El buen funcionamiento del sistema dosificador de químicos se toma en consideración como un factor que afecta en la presencia de incrustaciones en el sistema de enfriamiento.

- **Sistema de pretratamiento:** cuando se comenzó a realizar este trabajo de investigación en el mes de diciembre de 2009, se observó que el sistema de pretratamiento instalado en planta no estaba siendo utilizado, ya que la válvula HV-08 mostrada en la figura 3.4 del capítulo III, se encontraba cerrada, impidiendo el suministro de agua suavizada al tanque de almacenamiento 2, mientras que la válvula HV-09 se encontraba abierta, permitiendo el suministro de agua directa de Hidrocentro al tanque de almacenamiento 2.

Mediante entrevistas con el personal calificado, se constató que el agua almacenada en dicho tanque no se había hecho pasar por los equipos existentes para el pretratamiento del agua, es decir, se trataba de agua cruda, lo que trajo como consecuencia un alto nivel de dosificación de los químicos (antiincrustante-anticorrosivo y desinfectante) para tratar de solventar los problemas de incrustaciones, generando así mayores gastos a la empresa y consecuencias colaterales tales como valores muy altos de total de sólidos disueltos, conductividad, dureza, nitritos, entre otros. Esto condujo a la realización de una gran cantidad de



purgas, de 1000 L cada una, para disminuir dichos valores y alimentar al tanque de almacenamiento 2 únicamente agua pretratada.

Una vez realizado el lavado de los filtros y la regeneración de la resina para el mes de febrero del presente año, se procedió a caracterizar el agua a la salida del suavizador y con los resultados obtenidos se constató que los equipos empleados para el pretratamiento de agua, se encontraban en buen estado, ya que los valores de total de sólidos disueltos, conductividad, cloruros se encontraron dentro de los rangos permisibles por el sistema, e incluso un valor de dureza igual a cero, lo que se traduce en mínimas cantidades de sales disueltas en el agua, por debajo de 0,5 ppm. Sin embargo, como el sistema de pretratamiento del agua no estaba siendo utilizado este factor promovió la presencia de incrustaciones en el sistema, por lo que el buen manejo y utilización del sistema de pretratamiento instalado en planta se consideró relevante en estudio del diagrama causa-efecto, para la formulación de las propuestas de mejora.

- **Tanque de almacenamiento 2:** como el tanque de almacenamiento 2 se encuentra abierto al ambiente, aumenta la superficie de contacto entre el agua y el aire. En consecuencia, a medida que aumenta la temperatura ambiente disminuye el porcentaje de humedad relativa, por lo que se favorece el proceso de evaporación del agua, lo que se traduce en pérdidas de moléculas de agua hacia el ambiente. A pesar que estas pérdidas de agua por evaporación no son significativas en cuanto al agua que requiere el sistema para su funcionamiento, cuando el agua se evapora, las sustancias químicas disueltas en la misma, tales como anticorrosivo y desinfectante aumentan su concentración, lo que trae como consecuencia un aumento en el valor de los sólidos totales disueltos, en la conductividad del agua, en el pH, entre otros. Esto genera que se realicen mayor cantidad de purgas que lo requerido por el sistema y por ende, mayor consumo de agua suavizada y de químicos para lograr mantener los valores de los parámetros fisicoquímicos dentro de los rangos establecidos. Además, en épocas de lluvia el agua tratada contenida en el tanque de almacenamiento 2, es susceptible a ser contaminada por el agua proveniente de este fenómeno natural. Sin dejar a un lado, la presencia de partículas



contaminantes en el aire que pueden difundirse en el agua de proceso. En consecuencia, esta variable ejerce una influencia relevante en el estudio del diagrama causa-efecto para las propuestas de mejora del sistema de enfriamiento.

5.1.2.5 Método: este factor viene referido a la existencia o no de los procedimientos adecuados para llevar a cabo la regeneración de la resina, el lavado de filtros y la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua. Además, este factor toma en consideración el conocimiento del personal calificado para llevar a cabo dichos procedimientos y si se audita de alguna manera el cumplimiento de los mismos.

- **Lavado de filtros y regeneración de la resina:** debido al desconocimiento por parte de los operarios acerca del buen funcionamiento del sistema de pretratamiento de agua existente en planta, estos equipos no estaban siendo utilizados tal como se mencionó anteriormente. Sin embargo durante la realización de este trabajo de investigación, se realizó un monitoreo diario de la dureza a la salida del suavizador y cuando el agua se encontraba dura, fue que se llevo a cabo el procedimiento para la regeneración de la resina de intercambio, esto trajo como consecuencia el paso de agua dura hacia el tanque de almacenamiento 2 por un tiempo indeterminado, ya que hasta el momento del monitoreo de la dureza por parte del operario, las sales disueltas en el agua fluyeron a través de la tubería perturbando el sistema, causando de esta manera que este método sea el menos indicado según los requerimientos del proceso. Es por ello que este procedimiento para llevar a cabo la regeneración de la resina debe tomarse en cuenta para el estudio del diagrama causa-efecto, como una propuesta de mejora del sistema.

- **Medición de parámetros fisicoquímicos:** la medición de los parámetros fisicoquímicos estaban siendo realizados mensualmente por el laboratorio de la empresa proveedora de los químicos utilizados para tratar el agua de enfriamiento, hasta el mes de octubre de dos mil nueve. Los valores de los reportes mensuales que el proveedor le facilitaba a la empresa no eran comprobados por el personal capacitado del laboratorio de aseguramiento de la calidad, debido a la ausencia de equipos y reactivos necesarios para llevar a cabo la caracterización del agua de



enfriamiento. Esto condujo a un desbarajuste con respecto a los estándares establecidos por parte del proveedor, quienes a partir del mes de enero del presente año no continuaron con las caracterizaciones mensuales del agua de proceso. Por ende, el sistema de enfriamiento no estaba siendo monitoreado promoviéndose así la formación de incrustaciones en los canales de los moldes de las máquinas de inyección y soplado, o bien la corrosión a lo largo del sistema. Ante esta situación, se recomendó un cambio de proveedor. Además, se consideró la compra por parte de la empresa, de los equipos y reactivos necesarios para un monitoreo mensual a manera de erradicar los problemas encontrados en cuanto al factor medición. Por lo tanto, el método de medición de los parámetros fisicoquímicos del agua se consideró relevante en estudio del diagrama causa-efecto, para la formulación de las propuestas de mejora.

5.1.2.6 Mano de obra: el objetivo de este estudio es desarrollar propuestas para el mejoramiento del sistema de enfriamiento de la empresa Maggie Paul, C.A. y a pesar que los aspectos psicológicos y/o sociales que afectan directamente a los trabajadores de la planta son de vital importancia para el buen funcionamiento del proceso, no son relevantes para el rediseño del sistema. Sin embargo, el entrenamiento y capacitación de los operarios acerca del buen funcionamiento del sistema de enfriamiento fue realizado en este trabajo de investigación, con la finalidad de asegurar que los conocimientos adquiridos en este estudio sean manipulados por las partes interesadas y de esta manera, evitar las posibles fallas que a futuro se puedan originar por desconocimiento del modo operativo del sistema, por ejemplo la realización de las purgas, la regeneración de la resina, el lavado de los filtros, las válvulas que deben estar abiertas en sistema operativo, el monitoreo de las variables, la dosificación de los químicos, entre otros.

Finalmente, en el diagrama causa efecto mostrado en la figura 5.1 del presente capítulo las variables que se encuentran en color rojo representan los factores que alguna u otra manera promovieron la formación de incrustaciones en el sistema. Mientras que la que se encuentran el color verde no influyeron de manera negativa o bien no son fáciles de medir.



5.2 Caracterización fisicoquímica del agua de enfriamiento.

A partir del año 2009, comenzó a funcionar el sistema de pre-tratamiento de las aguas de enfriamiento de la empresa Maggie Paul C.A., tal como se ha venido mencionando. Al revisar los resultados de las caracterizaciones que mensualmente se les realizaban a estas aguas, se evidenció que no se mantenían los valores estándar de los parámetros fisicoquímicos medidos, por lo que se realizó la revisión de normas nacionales e internacionales para poder establecer el criterio de los límites permisibles. Para resultados de la caracterización del agua, ver Apéndice B

Según lo establecido en el decreto 883, el agua en estudio es de Tipo I, ya que es un agua destinada al uso industrial, y ésta forma parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él; y es además del subtipo B, por ser acondicionada por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. Del mismo decreto, fueron tomados los valores estándar de los parámetros fisicoquímicos.

El día 18 de diciembre de 2009, se tomó una muestra de agua del tanque de almacenamiento 2, que posteriormente fue estudiada en el Laboratorio Central Carabobo, donde se le realizaron los diferentes análisis fisicoquímicos, que son mostrados en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Análisis fisicoquímicos en el agua.

Análisis	Resultados	Decreto 883
Cloruros (mg/L)	8,15	600
pH (adim)	8,70	6,5 - 8,5
Temperatura (°C)	20,70	-
Nitritos (mg/L)	1260,6	10,0
Dureza total (mg/L)	137,8	500
Dureza cálcica (mg/L)	50,8	-
Alcalinidad total (mg/L)	348,3	-
Hierro total (mg/L)	0,15	1,0
Conductividad específica a 25°C (mmhos/cm)	5098,2	-
Sólidos totales disueltos (mg/L)	2205	1500
Sílice (mg/L)	11,62	-
Índice de Langelier	1,40	-



Tal como se observa en la tabla 5.1, al comparar los resultados de los análisis con lo exigido en la norma ambiental, es notorio que el pH, nitritos y sólidos totales disueltos están fuera del límite máximo permitido. Sin embargo, existen parámetros como la alcalinidad y conductividad del agua que no están reglamentados en el decreto 883, por tanto fueron comparados con dos normas internacionales “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” y “Propuesta para el suministro de productos químicos para el tratamiento de aguas, torres de enfriamiento y chiller”, donde se evidencio que ambas incumplen dichas leyes al sobrepasar los límites permisibles. En la tabla 5.2 se muestran los estándares de cada una de estas normas internacionales.

Tabla 5.2 Límites permisibles de la calidad del agua en normas internacionales

Análisis	Norma oficial mexicana	Propuesta en el suministro de químicos en Panamá
Cloruros (mg/L)	250	-
pH (Adim)	6,5 – 8,5	7,0 – 8,5
Temperatura (°C)	-	-
Nitritos (mg/L)	0,05	200 – 400
Dureza total (mg/L)	200	300
Dureza cálcica (mg/L)	-	-
Alcalinidad total (mg/L)	300	-
Hierro total (mg/L)	0,30	1,0
Conductividad específica a 25°C (mmhos/cm)	-	1000
Sólidos totales disueltos (mg/L)	500	-
Sílice (mg/L)	-	150
Índice de Langelier	-	-
Ciclos de concentración (Adim)	-	2 – 6



Luego de analizar lo reglamentado en cada norma y con la ayuda de especialistas en tratamientos de agua, se definieron los estándares que fueron usados para establecer los rangos permisibles de la calidad del agua, los cuales se muestran en la tabla 5.3. Además, se comparan con los análisis realizados en diciembre en el Laboratorio Central Carabobo.

Tabla 5.3 Comparación de los valores estándar establecidos con los análisis fisicoquímicos realizados en diciembre en el Laboratorio Central Carabobo.

Análisis	Resultados	Rango
Cloruros (mg/L)	8,15	Máx. 600
pH (Adim)	8,70	8,0 - 9,0
Temperatura (°C)	20,70	-
Nitritos (mg/L)	1260,6	200 - 400
Dureza total (mg/L)	137,8	0 - 30
Dureza cálcica (mg/L)	50,8	-
Alcalinidad total (mg/L)	348,3	Máx. 300
Hierro total (mg/L)	0,15	Máx. 1,0
Conductividad específica a 25°C (mmhos/cm)	5098,2	Máx. 2000
Sólidos totales disueltos (mg/L)	2205	Máx. 1500
Sílice (mg/L)	11,62	Máx. 150
Índice de Langelier	1,40	0,5 – 1

En la tabla 5.3, se pueden observar los valores que se encuentran fuera del rango establecido, como lo son, los nitritos, dureza total, sólidos disueltos totales, alcalinidad y conductividad, los cuales al estar en una mayor concentración



causaron incrustaciones en todo el sistema, afectando el correcto funcionamiento del mismo.

El valor del índice de Langelier, indica que el agua en el sistema es de carácter incrustante. Todos estos parámetros confirman que en el sistema existe incrustación, esto se evidenció en los canales de los moldes, ya que se encontraron depósitos de sedimentos, los cuales fueron removidos al hacerle mantenimiento a los moldes de las máquinas de inyección y soplado.

Cuando el agua se hace pasar por el sistema de pretratamiento (filtros de carbón, de arena y el suavizador), se reconoció que los equipos no habían sido lavados ni regenerados, es decir; no habían sido despojados del exceso de lodo depositado en ellos (ver valor de dureza reportado en las tablas 5.1 y 5.3), lo cual implica que el suavizador requiere regeneración, ya que no puede intercambiar más iones de calcio y magnesio por iones no incrustantes como el sodio.

El agua que se alimentó en el sistema después de la parada de planta que se hizo a finales de diciembre, fue directamente Hidrocentro, por lo que el sistema se encontraba con un agua no suavizada, el proveedor que instaló el sistema de pretratamiento aumentó la dosis de los químicos para contrarrestar esta situación.

Como en la planta no existían equipos para la medición de parámetros fisicoquímicos, que permitieran mostrar el comportamiento y funcionamiento de los equipos instalados, así como también de la calidad del agua; la gerencia administrativa en el mes de diciembre comenzó a realizar las gestiones para la compra de un kit de dureza total y de un equipo multifuncional, que permitiera medir la mayor cantidad de parámetros posibles.

Antes que la compañía realizara la compra, se recolectaron todas las cotizaciones ofrecidas por cada proveedor y por medio de una matriz de selección se compararon las distintas propuestas. Se realizó una sumatoria ponderada de cada una de ellas y posteriormente se seleccionó aquella que arrojó el mayor resultado. Esto benefició a la empresa, ya que de ahora en adelante, se podrá llevar un monitoreo de la calidad del agua.

En las tablas 5.4 y 5.5, se muestran las características de los kit y equipos para posteriormente realizar una matriz para la selección de cada uno de ellos.

Tabla 5.4 Características de los diferentes equipos multifuncionales

Proveedor	Equipo	Función	Costo Total (Bs)
A	HI 9813 Portable	Mide pH, conductividad	1.950,00
B	HI98130 Multiparámetro Resistente al agua	Mide pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos	3.950,00
C	HM Digital COM-100 Resistente al agua	Mide pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos	4.345,00

Tabla 5.5 Características de los kit de dureza total con diferentes proveedores

Proveedor	Descripción	Cantidad	Número de pruebas	Costo Unit. (Bs)	Total (Bs)
A	Solución Buffer	0,5 L	300	83,72	213,44
	Indicador	50g		78,20	
	Solución EDTA 0,02N	0,5L		51,52	
B	Solución Buffer	0,75 L	400	95,63	242,63
	Indicador	60 g		82,45	
	Solución EDTA 0,02N	0,75 L		64,55	
C	Solución Buffer	1 L	500	192,58	523,88
	Indicador	100 g		180,40	
	Solución EDTA 0,02N	1 L		150,90	



Posteriormente, se establecieron los principales criterios o parámetros de evaluación. En la tabla 5.6, se muestran los parámetros que se tomaron en cuenta para seleccionar el mejor equipo; según su operación, función y costo.

Se consideró como parámetro más importante la función del equipo, ya que de ésta dependerá la cantidad de parámetros medidos y además proporcionó, tanto a la empresa como a esta investigación, mayores variables que determinaran la calidad del agua y así poder tomar acciones correctivas y/o preventivas para cuando alguna de las variables se saliera del rango de control, por esta razón este parámetro en la matriz de selección se le asignó el mayor porcentaje.

Como segundo parámetro importante, se consideró el costo del equipo, esto se realizó con la finalidad de economizar en lo máximo posible, el equipo más favorecido según los criterios mencionados anteriormente, es el multiparámetro HI98130, ya que mide, cuatro variables como lo son: pH, temperatura, conductividad y sólidos totales disueltos y su costo en comparación a los otros equipos es menor.

Además, como último parámetro, se consideró la operatividad, ya que ésta, le brinda al operario un manejo muy simple del equipo, proporcionándole menores desviaciones, cuando se realice la toma de muestras y a la vez de los parámetros medidos, siendo en este criterio también favorecido el equipo HI 98130, por ser un dispositivo sencillo y de fácil uso.

Tabla 5.6 Matriz de selección del equipo

Criterios	Ponderación (%)	Equipo		
		HI 9813	HI98130	HM Digital COM-100
Función	35	4	9	8
Costo	33	9	10	6
Operatividad	32	8	10	8
Total	100	6,93	9,65	7,34



De la misma manera, se estableció un porcentaje de ponderación para los kit de dureza total, pero en este caso, se tomó en consideración el costo (con el mayor porcentaje), la calidad de las soluciones con 33% y el número de pruebas que se pueden realizar (con el menor porcentaje), seleccionándose así, el kit del proveedor B. Ya que este proporciona una mayor cantidad de pruebas y además por un costo menor en comparación con los otros proveedores. Tal como se muestra en la siguiente tabla 5.7.

Tabla 5.7. Matriz de selección del kit de dureza total

Criterios	Ponderación (%)	Proveedor		
		A	B	C
Costo	35	9	10	5
Calidad	33	7	8	9
Número de pruebas	32	7	8	10
Total	100	7,7	8,7	7,92

En el sistema de pretratamiento como se ha mencionado anteriormente, se encuentra instalado, un sistema automático para la dosificación de químicos (anticorrosivo-antiincrustante y biocida), el cual es controlado por un temporizador semanal, que para los meses de diciembre y enero tenía activado 5 pines, cada pin se mantiene accionado durante dos horas diarias, lo que equivalen a una dosis semanal de 10 h. Además posee dos bombas centrifugas que manejan cada una un caudal de 2 L/h. El proveedor de químicos estableció el ajuste de ese temporizador, así como también fijó el porcentaje de dosificación, el cual fue el siguiente:

- Anticorrosivo – antiincrustante, al 100%, es decir, 20 L por semana.
- Biocida, al 30%, lo que corresponde a 6 L a la semana.

A partir del 19 de enero se comenzó a realizar un monitoreo diario de los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad y sólidos totales disueltos con el uso del equipo multiparámetro, a las 8:30 am, se tomaron las primeras



muestras de agua, en diferentes puntos identificados como: cruda, suavizada, entrada a los enfriadores, en la purga del tanque de almacenamiento 2 y del agua que entra a la planta (Ver tabla 5.8).

Tabla 5.8 Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta

Análisis	Tipo de agua				
	Cruda	Suavizada	Entrada a los enfriadores	Purga	Entrada a la planta
pH (Adim)	7,02	7,09	9,28	9,31	9,32
Temperatura (°C)	24,9	23,8	18,7	17,8	13,7
Sólidos totales disueltos (ppm)	170	190	1870	1840	1860
Conductividad (mmhos/cm)	340	390	3740	3680	3720

Los valores obtenidos en la primera caracterización del agua en los tres puntos de muestreo más importantes, como lo son: entrada a los enfriadores, la purga del tanque de almacenamiento 2 y la entrada a la planta, se encontraban según el decreto N° 883 fuera de los valores estándar, esto muestra, que el agua no está en óptimas condiciones para trabajar en el proceso de enfriamiento, ya que en los sistemas de enfriamiento se necesita un agua desmineralizada.

El agua almacenada en el tanque de almacenamiento 2 presentó dureza, debido a que ésta no fue pasada por el sistema de pretratamiento, esto se corroboró, realizando el ensayo con el kit de dureza de manera cualitativa en el Laboratorio de Calidad de la empresa.



Se tomaron muestras del agua del tanque de almacenamiento 2 y de la salida del suavizador, y se les agregaron 10 gotas de la solución buffer y pizcas del indicador. El cambio de color del agua a azul, indica que no hay presencia de dureza, el color violeta indica lo contrario. Como en los casos evaluados la coloración presentada fue violeta, se procedió a realizar el lavado de los filtros y la regeneración del suavizador, como fue indicado en el capítulo III. Adicionalmente, se procedió a realizar purgas diarias de 1000 L en el tanque, por dos (2) semanas aproximadamente, para así tratar de sacar el agua dura y alimentar agua suavizada.

Al realizar el monitoreo diario se observa como los valores de pH, conductividad y sólidos disueltos total en tres puntos diferentes de la planta: entrada a los enfriadores, purga del tanque de almacenamiento 2 y en la entrada a la planta, fueron aumentando progresivamente (Ver Apéndice B).

En la tabla 5.9, se muestran los parámetros medidos del día 28 de enero, los niveles de pH, conductividad y sólidos disueltos totales, se incrementaron excesivamente, en comparación a los del primer monitoreo realizado en la empresa. Ese mismo día se apagó el sistema dosificador de químicos, ya que el anticorrosivo se había consumido en su totalidad.

Tabla 5.9 Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta

Análisis	Tipo de agua				
	Cruda	Suavizada	Entrada a los enfriadores	Purga	Entrada a la planta
pH (Adim)	6,88	7,04	9,16	9,21	9,28
Temperatura (°C)	30,4	29,4	20,1	18,3	10,3
Sólidos totales disueltos (ppm)	170	190	4160	4180	4240
Conductividad (mmhos/cm)	340	390	8320	8380	8460

Como los parámetros se encontraban fuera del rango establecido, se procedió a realizar nuevamente, purgas diarias de aproximadamente 1000 L, por dos (2) semanas y luego se comenzó a realizar una purga semanal, donde se logró bajar la concentración de esos parámetros, esto se realizó hasta el 22 de febrero. Esta disminución se puede observar en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Comparación de los parámetros fisicoquímicos realizados diariamente en diferentes puntos de la planta

Análisis	Tipo de agua				
	Cruda	Suavizada	Entrada a los enfriadores	Purga	Entrada a la planta
pH (adim)	6,93	6,94	8,32	8,39	8,47
Temperatura (°C)	29,7	28,5	19,3	16,3	11,17
Sólidos totales disueltos (ppm)	170	180	2010	2010	2010
Conductividad (mmhos/cm)	380	370	4030	4020	4040

El día 23 de febrero, se comenzaron a dosificar nuevamente los químicos pero con un porcentaje de dosificación diferente en cada bomba, biocida en un 50% y el anticorrosivo en un 10%, establecidos también por el proveedor. Se siguieron con las purgas semanales y los valores de los parámetros fisicoquímicos continuaron disminuyendo. (Ver Apéndice B)

Otro problema que surgió mientras se estuvo realizando la investigación, fue la formación de espuma en el tanque de almacenamiento 2. En la figura 5.3 se puede observar, como se desborda del tanque e igualmente ésta salía por la purga (Ver

figura 5.4) y por la toma a la entrada de los enfriadores; esa espuma comenzó a formarse desde el 25 de febrero, en donde días antes, se había cambiado el porcentaje de dosificación de los químicos.



Figura 5.3 Espuma desbordada en el tanque de almacenamiento 2.



Figura 5.4 Espuma en la purga del tanque de almacenamiento 2.

Este aumento progresivo de la espuma, fue consecuencia a que el desinfectante tiene un alto contenido jabonoso y por la alta dosificación que se estuvo realizando, hizo que se formara ésta radicalmente

Días después, se comenzaron a realizar de igual forma, purgas de 1000 L aproximadamente en el tanque de almacenamiento 2, para que así la cantidad de espuma disminuyera, sin embargo ésta nunca disminuyó y esta situación se



mantuvo por más de una semana, provocando problemas en algunas de las máquinas de inyección y soplado, ya que los moldes se empezaron a recalentar.

Al presentarse dicha situación, se tuvieron que parar las máquinas que presentaron este problema, para realizar el respectivo mantenimiento a los moldes y al momento de pasarle aire por los canales de enfriamiento, salía solo espuma, por lo que este problema fue muy grave para la empresa y conllevó a que se parara nuevamente la dosificación de los químicos, con la ayuda de un antiespumante se pudo bajar la cantidad de ésta en el tanque.

A partir del 17 de marzo, se comenzó a realizar la dosificación manual del anticorrosivo-antiincrustante, ya que se evidenció que el temporizador conectado al sistema dosificador no funcionaba correctamente, puesto que dosificaba más de las dos horas diarias de las que está programado.

Las purgas constantes causaron un alto consumo de agua, por lo que esto no fue rentable para la empresa y mucho menos fue beneficioso para el ambiente. Se debió realizar una selección final de las condiciones operativas, como lo son el volumen y la calidad del agua en la que se debería trabajar en el sistema cerrado de enfriamiento, y así se pudo reducir el consumo de agua.

En la figura 5.5, se muestra el comportamiento del pH, del agua que entra a los enfriadores. Se puede observar como éste parámetro fue aumentando desde un valor de 9.31 hasta 9.60 en el periodo comprendido entre el 18 y 28 de enero. Al apagar el sistema dosificador y realizando todas las purgas como se ha mencionado, este parámetro fue disminuyendo y controlado rápidamente.

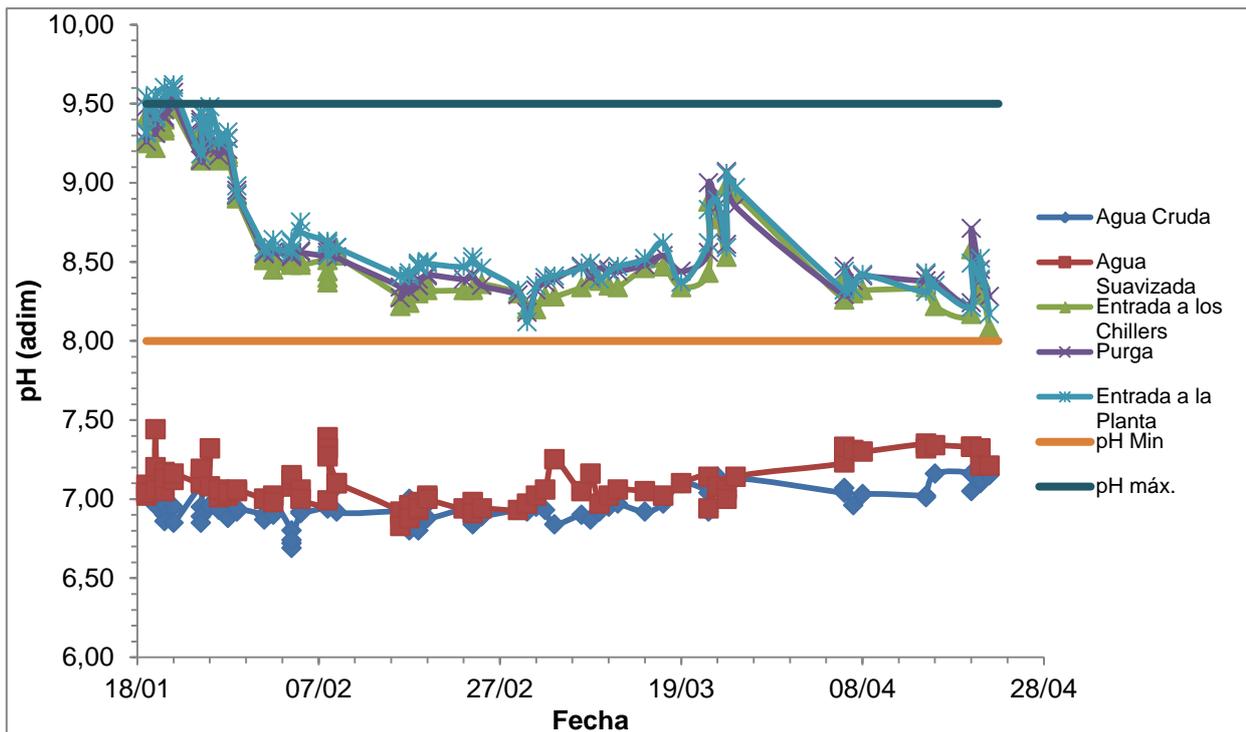


Figura 5.5 Monitoreo del pH durante los meses de enero y abril.

Las figuras 5.6 y 5.7, al igual que la 5.5, muestran una tendencia ascendente desde que se comenzó a realizar el monitoreo hasta que se apagó el sistema dosificador el día 28 de enero. A partir de ese momento, se puede observar como la tendencia de la curva ahora es descendente, esto se debe principalmente a que no se estuvo dosificando los químicos por cuatro semanas aproximadamente y se estuvieron realizando las purgas continuas en el tanque de almacenamiento 2.

También se pudo percibir que al bajar el porcentaje de dosificación del anticorrosivo-antiincrustante del 100% al 10%, los sólidos disueltos totales y la conductividad también fueron bajando; esto muestra que el sistema se encontraba saturado por los químicos; por lo que a mayor cantidad de las sales disueltos, existe mayor tendencia a formarse las incrustaciones en el sistema de enfriamiento de la planta (enfriadores; canales de los moldes, intercambiador de calor de las máquinas, tuberías, entre otros).

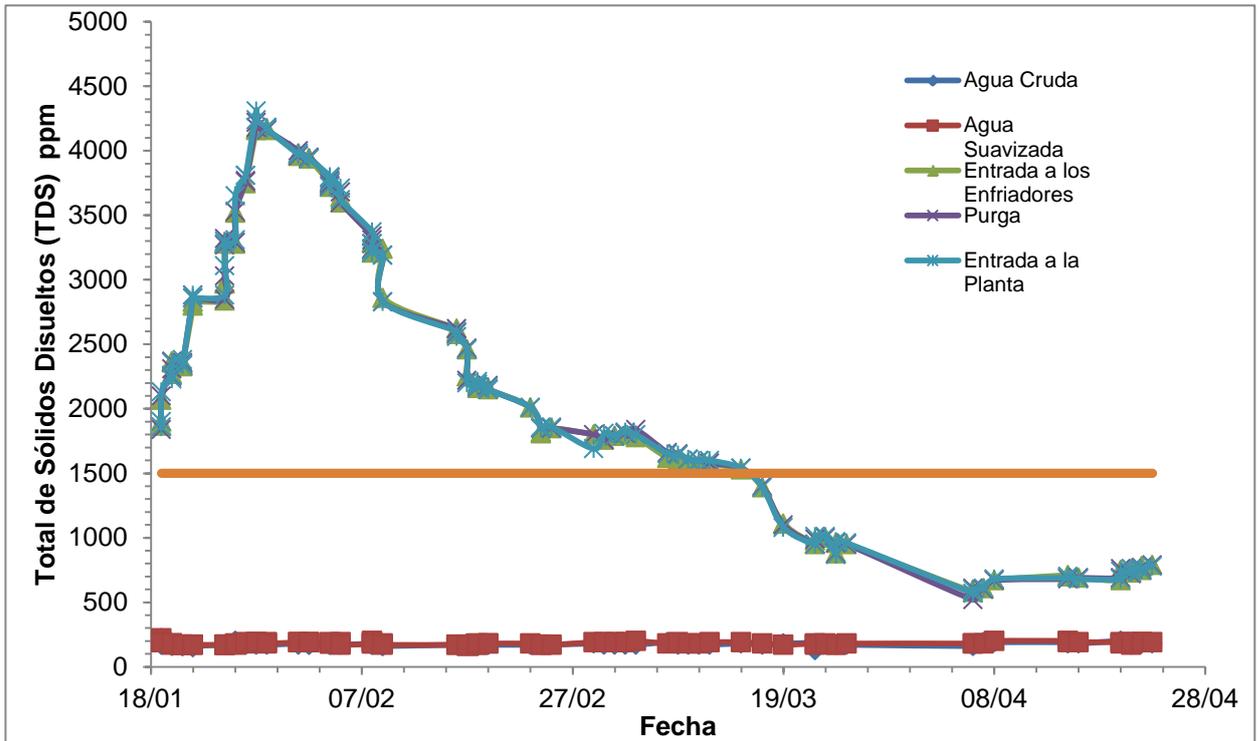


Figura 5.6 Monitoreo del total de sólidos disueltos durante los meses de enero y abril.

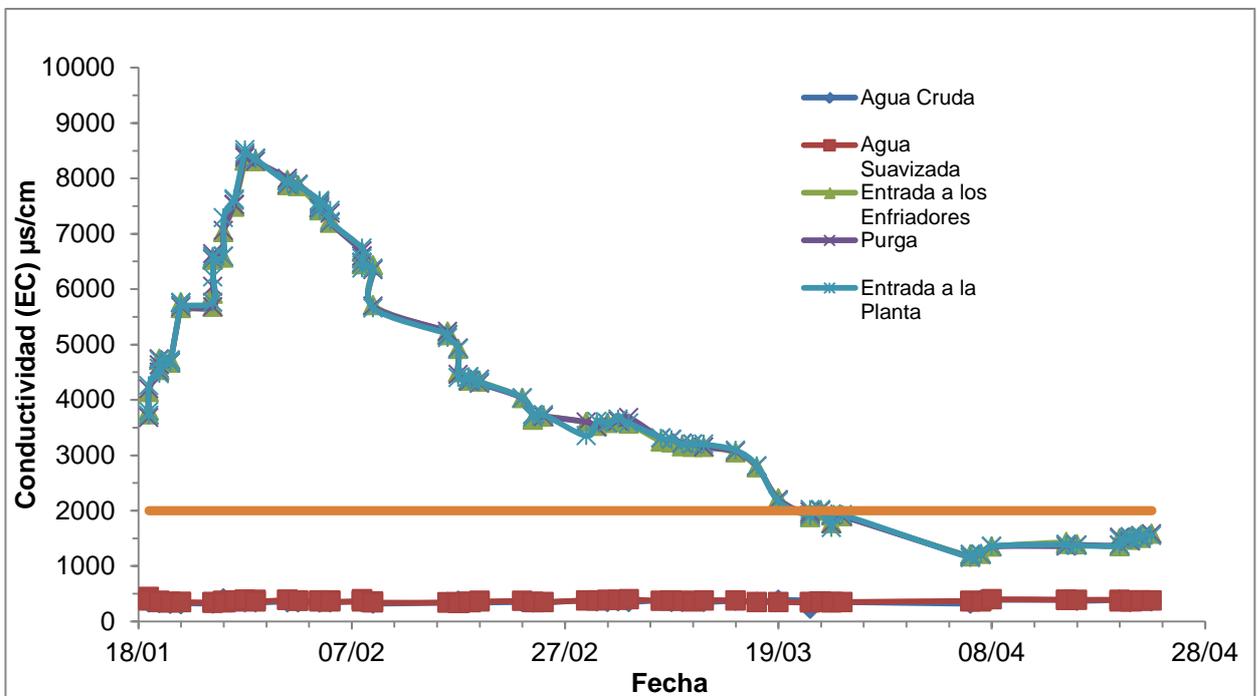


Figura 5.7 Monitoreo de la conductividad durante los meses de enero y abril.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad, fueron uno de los parámetros más susceptibles en el sistema por la dosificación de los químicos, ya que estos perturban el sistema por su alto contenido de sólidos, alcalinidad y conductividad, en la base activa con que son fabricados.

La figura 5.8, muestra los ciclos de concentración que existían en el sistema, para la obtención de estos resultados se hizo uso de la ecuación (II) mostrada en el capítulo I, se llegaron a tener 23,11 ciclos de concentración el día 28 de enero, el agua se encontraba bastante concentrada de impurezas, esto fue otra de las razones por las que se estuvieron realizando las purgas en el tanque de almacenamiento, ya que antes de comenzar con este trabajo de investigación, no se realizaban purgas y el sistema llegó a concentrarse excesivamente. Igualmente al comenzar las purgas y al bajar la dosificación del anticorrosivo-antiincrustante, estos ciclos disminuyeron, llegando a estar en el rango permitido, teniendo ahora un agua sin muchas impurezas.

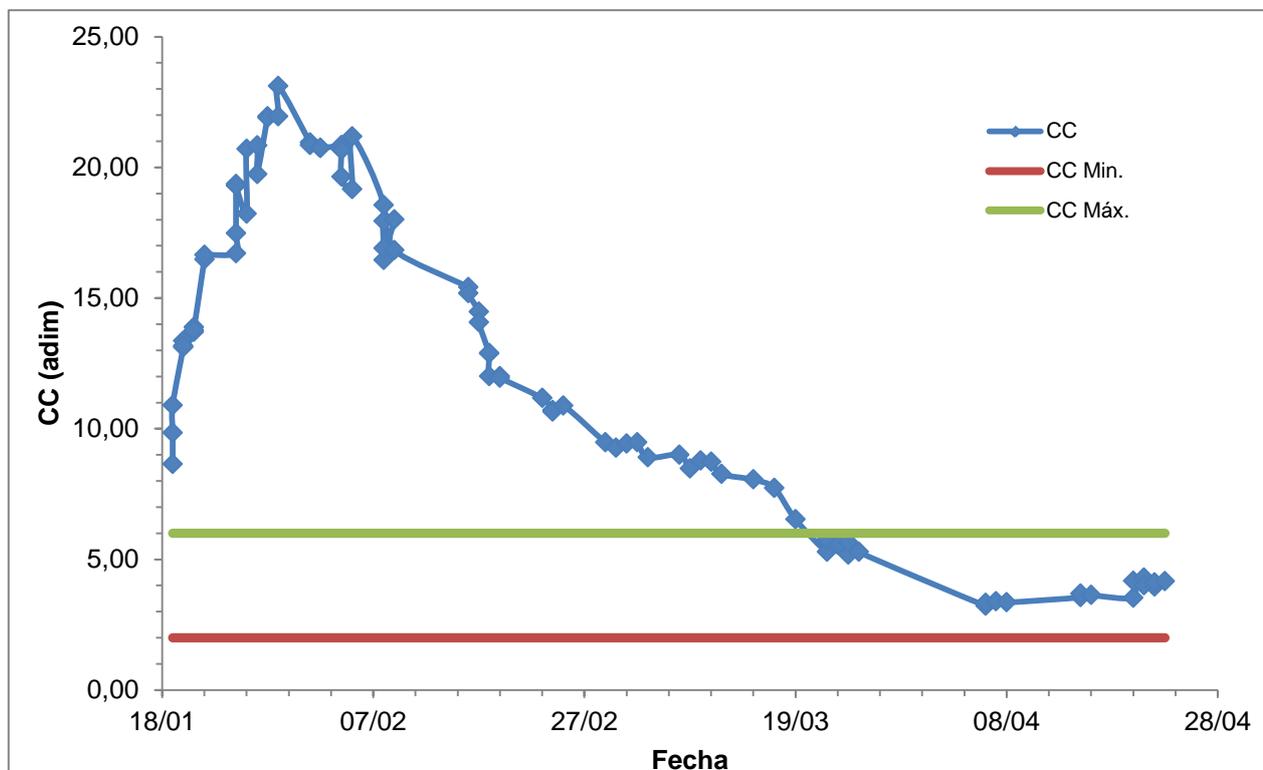


Figura 5.8 Variación de los ciclos de concentración durante los meses de enero y abril.



Según todo lo explicado anteriormente, al dosificar sin un control específico, se corre el riesgo de saturar el agua de iones o sales, aumentando directamente su conductividad. Esto causaría como ya se ha mencionado, incrustaciones y corrosión en el sistema que impedirán el funcionamiento óptimo de todo el equipo en general, por lo tanto se deben aplicar medidas preventivas de control para los operarios al momento de realizar las dosificaciones.

El día 25 de marzo, se tomaron muestras de agua que fueron analizadas nuevamente en el Laboratorio Central Carabobo, estos análisis son mostrados en la tabla 5.11, en donde se puede observar que el agua que entra a la planta (agua cruda) presenta dureza y según el índice de Langelier obtenido también presenta un alto carácter corrosivo, dos grandes problemas en sistemas de enfriamiento cerrado.



Tabla 5.11 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos de la planta.

Análisis	Resultados			
	Estándar	Agua cruda	Agua suavizada	Entrada a los enfriadores
Cloruros (mg/L)	600	5,7	6,0	8,60
Sulfatos (mg/L)		37,00	35,00	36,00
pH (Adim)	8,0 – 9,0	7,11	7,14	8,74
Temperatura (°C)	-	23,70	23,50	20,10
Nitritos (mg/L)	200 – 400	0,06	13,20	396,00
Nitratos (mg/L)	200 – 400	3,08	5720,00	7920,00
Dureza total (mg/L)	0 – 30	102,91	4,20	0,00
Dureza cálcica (mg/L)	-	52,1	0,0	0,0
Alcalinidad total (mg/L)	300,0	65,1	70,9	248,1
Hierro total (mg/L)	1,0	0,15	0,13	0,12
Conductividad específica a 25°C	2000,0	570,7	599,5	2919,4
Sólidos totales (mg/L)	1500,0	125,0	180,0	1165,0
Índice de Langelier	0,5 – 1,0	-1,004	-2,664	-0,511
Ciclos de concentración	2 – 6	-	-	6,47



Por otra parte se muestra que el agua al ser suavizada disminuye su dureza considerablemente, lo que evidenció que el suavizador está realizando su trabajo gracias al monitoreo de dureza que se llevó, por lo que se pudo realizar la regeneración cuando este lo ameritaba, es decir, cuando la dureza del agua a la salida del suavizador no fuera cero, este monitoreo se realizó de manera cualitativa como se describió anteriormente.

Otro parámetro que aumenta en el agua a la salida del suavizador son los nitratos, estos resultan de la oxidación del nitrógeno; como es un proceso que se llevan a cabo en fase aeróbica, se necesita oxígeno disuelto en el agua para que estas se puedan dar. Ahora bien, cuando estas reacciones ocurren siempre se afecta el pH, lo que quiere decir que el agua se vuelve mucho más ácida, y esto ocasiona daños al sistema ya que si se tiene un pH bajo se da manera más rápida la corrosión.

El agua suavizada es más corrosiva ya que se le están quitando propiedades para disminuir la dureza y para contrarrestar este parámetro, el agua transformada es más inestable.

Cuando se compara los valores de los parámetros del agua cruda con los del agua que entra a los enfriadores, se vio cómo influían en la conductividad, pH, sólidos totales, alcalinidad, dureza total, nitratos, nitritos, índice de Langelier y ciclos de concentración; esta influencia como ya se ha mencionado, se debe a los químicos dosificados, ya que estos repercuten directamente en la calidad del agua, puesto que son usados para acondicionarla antes de ser alimentada al sistema de enfriamiento inhibiendo su tendencia incrustante y corrosiva,

Esta adición constante de químicos, sin establecer el correcto porcentaje de dosificación hacen que aumenten dichos parámetros, excediéndose de los valores estándar y ocasionando problemas en el sistema cerrado de enfriamiento, de la misma forma, se obtuvieron valores del agua sin tratar que también se encontraban fuera del estándar, sin embargo con el correcto funcionamiento del sistema de pretratamiento se logró ajustar el pH y la dureza.



5.3 Establecimiento de alternativas que permitan el mejoramiento del sistema de enfriamiento del agua en cuanto a calidad y servicio.

De acuerdo a las variables críticas que se consideraron más influyentes, las cuales fueron seleccionadas basándose en los resultados de los parámetros fisicoquímicos, tal como se explicó anteriormente, se establecieron las alternativas que permitirán el mejoramiento del sistema cerrado de enfriamiento del agua.

Además se fundamentaron dichas alternativas de acuerdo a las entrevistas realizadas con el personal que labora en la empresa, para así poder establecer el alcance del presupuesto que se disponía.

Con la ejecución de los objetivos anteriormente planteados, se realizaron investigaciones de nuevas tecnologías para la calidad del agua en sistemas de enfriamiento, así como también se estudió las posibilidades de mejoras que se puedan realizar dentro del sistema de pretratamiento que se encuentra actualmente instalado.

A continuación se presentan las características de las diferentes alternativas, en donde se analizaran, compararan y con ellas se mejorara el sistema de enfriamiento.

5.3.1 PROPUESTA 1. Control manual del sistema de pretratamiento.

Al realizar la evaluación del sistema de pretratamiento, la planta no cuenta con un control operativo, procedimientos e instrucciones, entre otros documentos, que permitan evaluar y registrar la calidad del agua, para así tomar acciones que permitan lograr el buen funcionamiento del sistema, así como también solucionar los problemas que se puedan presentar. La empresa Maggie Paul, para facilitar el desarrollo del presente trabajo especial de grado adquirió el equipo multifuncional HI 98130 que permite medir los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad y sólidos disueltos totales y también un kit de dureza total, mediante el cual se evalúa cualitativamente la dureza total, y de esta manera poder realizar la respectiva regeneración de la resina cuando esta lo amerite. Además se necesitan



documentos, tales como tablas de datos en donde quede evidenciado el monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos medidos con el equipo multiparámetro mencionado anteriormente.

Al realizar la evaluación del sistema de pretratamiento, como se ha venido mencionando, la planta no cuenta con un control operativo, procedimientos e instrucciones, entre otros documentos, que permitan evaluar y registrar la calidad del agua, para así tomar acciones en el correcto funcionamiento del sistema y de los problemas que se puedan presentar, ya que al comenzar con esta investigación, se implementó el equipo multifuncional HI 98130 que permite medir los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad y sólidos disueltos totales y también un kit de dureza total, el cual permite evaluar cualitativamente la dureza total, con el cual se podrá verificar la dureza en la salida del suavizador y así realizar su respectiva regeneración cuando este lo amerita, además se necesitan documentos, tales como tablas de datos en donde quede evidenciado el monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos medidos con el equipo multiparámetro que fue mencionado inicialmente.

Esta alternativa tiene gran parte orientada a la realización de un plan que permitirá llevar el monitoreo, mantenimiento y control de todo el sistema de pretratamiento. Para ello se necesitan los siguientes documentos:

5.3.1.1 Procedimientos para la determinación de los diferentes parámetros.

En esta sesión se realizará un documento en donde se especifican las rutas de operación del equipo HI 9129, para la medición de los parámetros fisicoquímicos: pH, EC y TDS; y otro documento para la ruta de la determinación de dureza cualitativamente; esto para que así, cualquier persona asignada a realizar las medidas de estos parámetros, pueda entender el funcionamiento del equipo y de una manera fácil y sencilla realizar esa medición.



5.3.1.2 Tablas de datos.

Para poder llevar un control de los parámetros se necesitan registros que le permitan al operario tener un soporte del muestreo de los diferentes parámetros fisicoquímicos medidos con el equipo multiparámetro y por lo tanto manejar una data del comportamiento del sistema.

Con los datos registrados en las tablas, se podrán identificar fallas, anomalías, errores de operación y cualquier desviación de lo normal que pueda afectar la distribución del agua de enfriamiento.

5.3.1.3 Gráficos de control

Con el uso de una hoja de cálculo, se podrán realizar los gráficos de control de los parámetros fisicoquímicos, de los valores monitoreados, que se encuentran plasmados en las tablas de datos que se nombraron anteriormente. Se realizará un gráfico para cada parámetro, en donde se mostrarán los límites de los rangos permisibles. Esto proporcionará al operario del sistema de pretratamiento la varianza de los valores medidos; es decir, mostrará de una manera más cómoda y sencilla el comportamiento del sistema mensualmente, estos gráficos son una técnica poderosa para el análisis de los datos del proceso.

5.3.1.4 Control Operativo.

Para realizar la verificación y comprobación de la conformidad del sistema de pretratamiento, se tendrá que realizar un plan adoptado al sistema, el cual consta de los siguientes documentos:

✓ **Plan de Calidad del sistema de pretratamiento:** este constará de los siguientes elementos:

- ¿**Qué** se va a controlar?
- ¿**Quién** va a evaluar esos parámetros de control?
- ¿**Cómo** voy a evaluar (inspección visual, análisis, cálculo, etc.)



- ¿**Con qué** se mide?, equipo utilizado para medir los parámetros, necesidad de verificación y calibración y su frecuencia: ¿Quién lo mide, quién lo analiza y quién toma decisión o actúa sobre ellos.
 - ¿**Documentación** asociada a estos registros?
- ✓ **Plan de control:** no es más que las planillas de control operativo, en donde se muestran las causas, consecuencias, acciones correctivas y preventivas aplicadas al análisis de la desviación del rango óptimo.
- ✓ **Plan de mantenimiento:** relaciona la infraestructura ambiental y los equipos asociados, cantidad existentes y disponibilidad. Este también constará de un chequeo del sistema de pretratamiento, en donde se verificarán las válvulas abiertas y cerradas, nivel de químicos, ceba de las bombas dosificadoras; formación de espuma, color, olor y sólidos en el agua del tanque de almacenamiento 2.

Con el correcto uso de los formatos, el sistema podrá operar de manera eficiente, garantizando así la calidad del agua, ya que se puede normalizar, regular y supervisar de manera consecutiva el sistema de pretratamiento, ya que se necesita un adecuado abastecimiento del agua hacia la planta, asegurando el correcto funcionamiento del sistema. Todos estos formatos se pueden observar en el apéndice C.

La empresa además debe disponer del personal entrenado, con habilidad para realizar los procedimientos del control de calidad del agua, si resultase seleccionada está propuesta, se realizarán charlas informativas para el personal de calidad, mantenimiento y producción, para que puedan realizar la metodología correcta de la medición de los parámetros y al momento de presentarse un problema en el sistema de enfriamiento, referente al agua, podrán tomar las debidas acciones correctivas y/o preventivas.

El plan puede estar sometido periódicamente a revisiones, críticas y ajustes a partir de la experiencia práctica que se va obteniendo. El avance del programa se puede ir vigilando y reajustando a los objetivos si es necesario.



De acuerdo a la experiencia que se pudo tener mientras se realizó el estudio del sistema de enfriamiento, se fijará un porcentaje de dosificación, por todos los problemas que se han explicado anteriormente, y así se podrá tener en correcto funcionamiento del sistema de pretratamiento, ya que se podrán controlar los valores de pH, conductividad y sólidos disueltos totales. El porcentaje de dosificación de químicos es el siguiente:

- Anticorrosivo, 50% una hora diaria, lo que equivale a 5 L/semana.
- Biocida, 20% durante una hora al día, 2 L/semana.

En esta propuesta además se incluye el diseño de una tapa para el tanque de almacenamiento 2, que actualmente se encuentra abierto, por lo que no se puede controlar los contaminantes que caigan en el agua, ya sea por la lluvia o por partículas presentes en el aire.

En la entrada del tanque se encuentran las tuberías de agua de reposición y de recirculación en diferentes partes de la entrada al tanque de almacenamiento 2, por lo que primeramente se tendrán que acondicionar las tuberías de forma concéntrica. Luego se diseña una tapa en acrílico, que es de bajo costo y fácil de manejar, en donde se podrá visualizar el agua en este tanque sin necesidad de abrirlo evitando la contaminación como se ha mencionado anteriormente que de alguna u otra forma entran al agua y esto a su vez entra al sistema de enfriamiento, causando ensuciamiento e incrustaciones en el sistema. En la figura 5.9 se muestran las dimensiones en centímetro que debe tener la tapa.

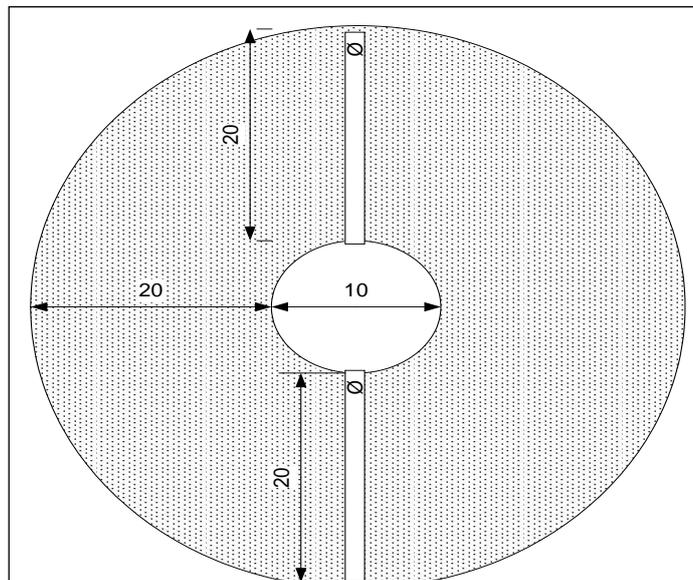


Figura 5.9 Dimensiones de la tapa para el tanque de almacenamiento 2.

En vista de todos los problemas anteriormente mencionados con el proveedor de los químicos se propone un cambio de proveedor, en donde a través de este trabajo se solicitó la visita de dos empresas que suministran los químicos para la protección y garantía de la calidad del agua del sistema de enfriamiento.

El primero de ellos es el proveedor AC, el cual ofrece los siguientes beneficios:

- Reunión con personal operario y supervisores.
- Diseño de cronograma de actividades coordinado por las gerencias.
- Puesta en marcha del tratamiento químico:
- Charla inductiva de sistema de pretratamiento y sistema de enfriamiento.
- Entrega de informe bimestral de las actividades realizadas.
- Protección integral de todo el sistema donde se aplique dicho tratamiento.
- Reducción de costos y limpieza de equipos.
- Eliminación de paradas no programadas.
- Monitoreo constante.
- Personal capacitado cuando requiera toma de decisiones sin costo.



- Estabilidad de precios de químicos para mantenimiento.
- Entrega de informe de los análisis fisicoquímicos del agua realizados mensualmente.

112

En cuanto al otro proveedor que visito la empresa, llamado HE, ofreció los siguientes beneficios:

- Visitas técnicas y de servicio en forma mensual por el ingeniero encargado de la cuenta.
- Realización de chequeo analítico a las aguas del sistema mensual y cuando sea necesario.
- Calibración de equipos y bombas dosificadoras cuando sea requerido
- Revisión y calibración de dosificación las veces que sea necesario.
- Entrenamiento teórico-práctico del personal operario y supervisor del sistema, en relación al manejo analítico.
- Charlas, cursos y seminarios sobre tratamiento de aguas en sistemas de enfriamiento al personal involucrado.
- Charlas técnicas sobre suavización de agua, dictadas al personal operario del sistema.
- Análisis de agua, su interpretación y ajuste de variables.
- Despachos y/o entregas de productos a tiempo
- Inspecciones de equipos durante las paradas programadas, elaborando su respectivo informe soportado por fotografías.
- Monitorear los resultados del programa químico aplicado.
- Visitas técnicas semanales en períodos de arranque de ser necesario.
- Asesoría técnica continúa.



En la tabla 5.12, se muestran los precios de los químicos, así como también las características de estos.

Tabla 5.12 Características de los químicos para la protección del sistema de enfriamiento por dos proveedores

Proveedor	Producto	Descripción	Presentación	Precio (Bs)
AC	Anticorrosivo	Inhibidor de corrosión para todos los metales sistemas cerrados tanto caliente como fríos.	Tambor de 230kg	2.576,00
	Biocida	Biocida orgánico para excelente control de algas, bacterias y hongos.	Tambor de 200kg	2.354,00
HE	Inhibidor	Inhibidor multifuncional de sistemas cerrados	Tambor de 220kg	2.688,00
	Biocida	Biocida no oxidante.	Tambor de 220kg	2.640,00

5.3.2. PROPUESTA 2. Control automático del sistema de pretratamiento.

Debido al abandono y desconocimiento que ha presentado el sistema de pretratamiento por parte del personal que labora en la planta, ha surgido el requerimiento de efectuar una modificación en el diseño que actualmente se encuentra instalado, para así ofrecer un buen desempeño de este sistema.



En primera instancia se adicionará un suavizador de 10" x 35", cargado con resinas nuevas tipo (1 pie³), el cual será instalado en donde se encuentra actualmente ubicado el suavizador en la zona de pretratamientos. Éste utiliza la última tecnología en intercambio iónico para eliminar los minerales indeseables del agua como calcio y magnesio. Para de esta manera asegurar que al tanque de almacenamiento 2 no se adicione agua dura, ya que aún cuando se realice un monitoreo periódicamente por parte del operador de forma manual, es imposible determinar con exactitud el momento en el cual la resina se encontraba agotada, permitiendo así el paso de sales de calcio y magnesio hasta el momento que el operador realice la prueba de dureza y resulte fuera de los requerimientos establecidos previamente, con lo cual proceda a la regeneración de la resina con la solución de salmuera.

Los suavizadores automáticos están configurados para su fácil instalación. Los diferentes controles pueden dar opción a sistemas con regeneración en base a tiempo o en base a demanda (con medidor de flujo), sencillos o dúplex (sistema con dos unidades). Los suavizadores están compuestos de un tanque mineral en fibra de vidrio, resina catiónica, difusor en polipropileno con canastilla inferior y superior, tanque de salmuera y un control automático para su regeneración.

La mayoría de los ablandadores de agua populares tienen un sistema automático de la regeneración. El tipo más básico tiene un cronómetro eléctrico que limpia y recarga el sistema en un horario regular. Durante la recarga, el agua suave no está disponible.

El segundo tipo de control usa un computador que controla la cantidad de agua usada. Cuando suficiente agua ha pasado a través del depósito mineral para haber agotado los granos de sodio, la computadora acciona la regeneración. Estos ablandadores tienen frecuentemente una capacidad de reserva de resina, para que agua ablandada sea disponible durante la recarga.

Un tercer tipo de control usa una escala de medida mecánica para medir la cantidad de agua usada y para poner en acción la recarga. La ventaja de este



sistema es que no hay componentes eléctricos, y el depósito mineral se recarga solo cuando es necesario.

En nuestro caso es necesario un suavizador con un controlador computarizado, ya que primeramente se llena completamente con agua suavizada el tanque de almacenamiento 2, con una capacidad de 5000 L y, al pasar de los días solo se repone agua blanda por pérdidas o fugas que hay en el sistema, por lo que no siempre está en funcionamiento el sistema de pretratamiento. Esto genera, la necesidad de instalar un indicador de nivel en el tanque de almacenamiento 2, que permita enviar la señal al controlador para adicionar agua pretratada cuando el nivel se encuentre por debajo de los 5000 L, e interrumpa el paso de agua una vez que se encuentre lleno.

Especificaciones del suavizador automático:

- Dimensiones (Ancho x Profundidad x Alto): 13-1/2" x 22-1/2" x 43-1/2"
- Presión: 20 PSI - 120 PSI
- Turbiedad: 5 NTU máximos.
- Temperatura: 35°F-100°F
- Cloro: 1 PPM de máximo
- Hierro: 2 PPM de máximo
- Eléctrico: 115V/60Hz

En la siguiente tabla 5.13, se muestran las características de los suavizadores que se ofrecen en esta propuesta.

Tabla 5.13 Especificaciones del suavizador controlado por una válvula de control automático.

Tanque Mineral	10"x35"	10"x35"
ft ³ de resina	1	1
Conexiones de tuberías	1"	1"
Flujo de reto-lavado (Gpm)	2,75	2,75
Flujo de servicio normal	4	4
Flujo de servicio pico (Gpm)	6	6
Capacidad Total de regeneración a 15 lb/ft ³ (H)	30	30
Capacidad Total de regeneración a 9 lb/ft ³ (S)	25	25
Capacidad Total de regeneración a 3 lb/ft ³ (L)	15	15

En la siguiente figura 5.10, se puede observar el funcionamiento del suavizador automático.

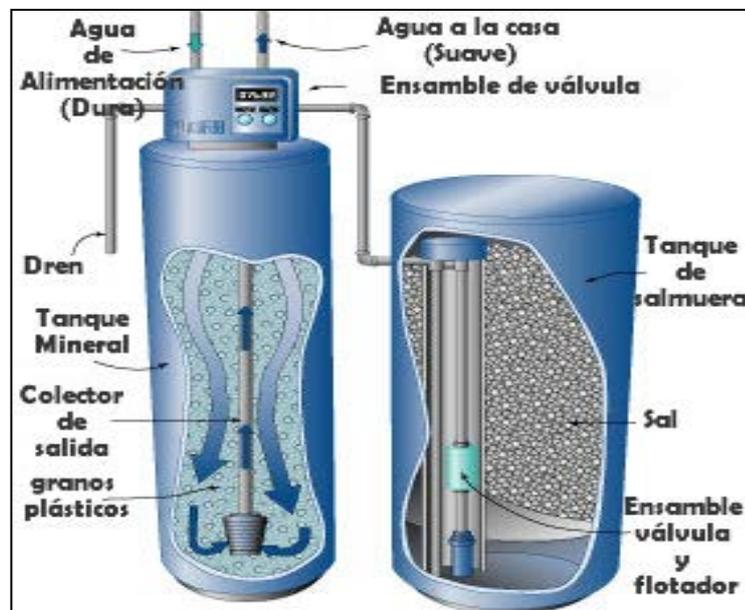


Figura 5.10 Funcionamiento del suavizador controlado por una válvula automática

Fuente: <http://www.todoagua.aqua-soft.com.mx/filtros-filtracion-purificadores-para-agua-suavizadores-residencial-y-comercial-suavizador-de-agua-de-1-pie-cubico-control-ptiempo-o-demanda-p-210.html?osCsid=d3dd84eb5c9f77eb2aa471bf3a6f6724>



El segundo lazo de control viene referido a la dosificación automática de los químicos y la purga automática del agua tratada que se encuentra depositada en el tanque de almacenamiento 2, para el control del sistema. Este lazo de control requiere de la instalación de los siguientes equipos:

Un conductímetro en línea ubicado en la tubería de salida del tanque de almacenamiento 2, que envíe la señal de entrada al PLC constantemente. Cuando el valor que registre el conductímetro sea igual a 2000 mmhos/cm, el PLC envíe una señal de salida a la válvula automática de purga, la cual se abre al 100 % permitiendo la salida del agua de enfriamiento hacia el desagüe, ocasionando que los valores de conductividad disminuyan progresivamente hasta que el valor de dicho parámetro fisicoquímico se encuentre en 900 mmhos/cm. Instante en el cual el PLC, envía una señal de salida hacia la válvula automática de purga para que esta se cierre. Por el contrario, cuando el conductímetro registra un valor de 750 mmhos/cm envía una señal eléctrica al PLC, tras lo cual éste último, envía una señal de salida hacia las bombas dosificadoras de los químicos para permitir el paso del anticorrosivo 0,5 L/h y del desinfectante a un caudal de a 0,2 L/h, hasta que el conductímetro registre un valor de 900 mmhos/cm., momento en el cual cesa la dosificación de los químicos.

Es necesario destacar que el controlador lógico de proceso utilizado para el control automático del suavizador es el mismo que se utiliza para el segundo lazo de control, en el cual se regula la dosificación de los químicos y la realización de las purgas del sistema, tal como se mencionó anteriormente. Este PLC se debe instalar en la zona de pretratamiento existente en planta, el cual es un área que se encuentra techada para de esta manera evitar daños por las condiciones ambientales. El controlador lógico de proceso tiene la capacidad de recibir 12 señales de entrada y enviar hasta 8 señales de salida, por lo que en un futuro en caso de ser necesario controlar alguna otra variable en el proceso dicho controlador podría ser utilizado para tal fin.

En la siguiente figura 5.11, se muestra el diagrama de tuberías e instrumentación de la zona de pretratamiento instalada en planta, en el cual se

señala la ubicación de los equipos a instalar con la implementación de esta propuesta.

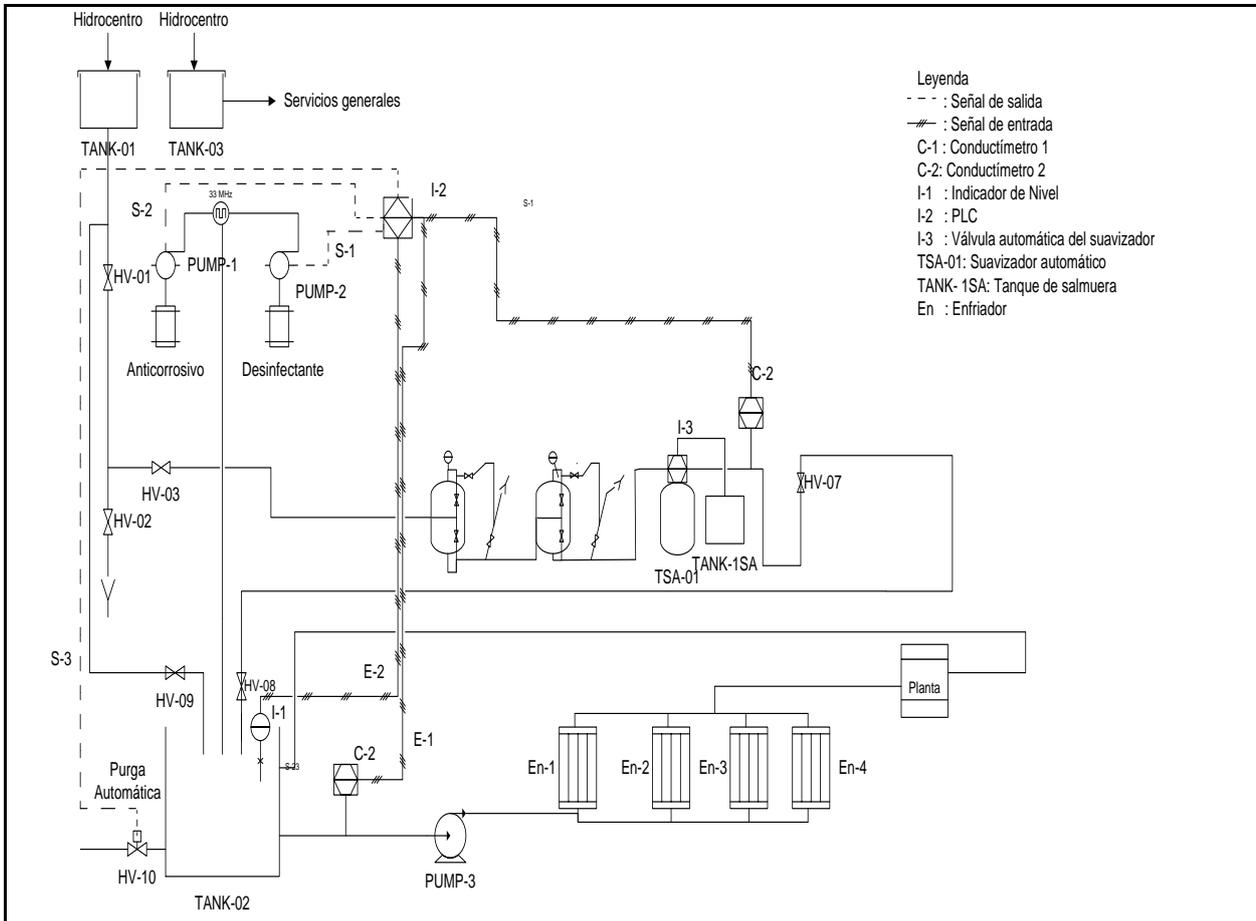


Figura 5.11 Diagrama de tuberías e instrumentación de la zona de pretratamiento instalada en planta en el cual se señala la ubicación de los equipos a instalar con la implementación de esta propuesta.

5.4 Selección de la alternativa más adecuada que permita reducir costos y proveer el mejor índice de beneficios en el desempeño del sistema.

Se plantean las diferentes alternativas de solución para mejorar el sistema de enfriamiento del agua de las máquinas de inyección y soplado de la Industria Maggie Paul, para posteriormente seleccionar la más adecuada. A continuación se muestra la matriz de selección de las propuestas planteadas y posteriormente se explica detalladamente el por qué de las puntuaciones asignadas por cada criterio para ambas propuestas.

Tabla 5.14 Matriz de selección de las propuestas planteadas.

Criterio	Calif.	Propuestas	
		Control manual	Control automático
Receptividad de la empresa	35 %	10	7
Costos operacionales y de instalación	25 %	8	6
Tiempo	15 %	10	8
Aprovechamiento de equipos existentes	15 %	8	6
Accesibilidad	10%	10	7
Total	100%	9,2	6,75

Se seleccionó la propuesta que refiere a un control manual del sistema de pretratamiento del agua, ya que resultó ser la de mayor puntaje. A continuación se explica brevemente la(s) razón(es) por la(s) cual(es) se le asignó la puntuación a ambas propuestas según cada uno de los criterios mencionados anteriormente.

PROPUESTA 1. Control manual del sistema de enfriamiento.

Descripción de la propuesta: En esta alternativa se plantea la posibilidad de un control manual en el sistema, en donde se supervise la eficiencia y seguridad de las operaciones del sistema de pretratamiento, todas las acciones de mantenimiento



y control de la calidad del agua deberían ser registradas en un diario de operaciones del sistema. Igualmente cuando la empresa que provee los químicos realiza los análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua, con el uso de este control se podrá registrar y comparar estos resultados. Con la correcta aplicación de estos formatos, las incrustaciones disminuirán ya que se estará trabajando con agua de buena calidad.

A continuación se explican en detalle los factores que se tomaron en cuenta para el desarrollo de esta propuesta.

- **Receptividad de la empresa:** esta alternativa presenta una gran receptividad por parte de la empresa debido a que para ellos representa una manera más fácil, rápida y segura de solucionar el problema de enfriamiento presentado en las máquinas de inyección y soplado. Por ello se le asigna la puntuación de 10.

- **Costos operacionales y de instalación:** los costos operacionales de esta alternativa son prácticamente nulos, ya que no se necesita contratar a un operador para que controle el sistema de enfriamiento, sino que las responsabilidades fueron asignadas al personal de los departamentos de calidad y mantenimiento. En cuanto a los costos de instalación son iguales Bs 4.737,63, representados por la inversión inicial. Además la implementación de esta propuesta, no paraliza el sistema y no se requieren modificaciones a las instalaciones ya existentes. Por lo que se le asigna una puntuación de 8.

- **Tiempo:** la aplicación de esta alternativa de solución no implicaría una gran pérdida de tiempo, debido a que es bastante sencilla la implementación de estos formatos. Por lo tanto se le asigna una puntuación de 10.

- **Aprovechamiento de los equipos existentes en el sistema:** la alternativa planteada presenta un aprovechamiento de todo el circuito de enfriamiento (enfriadores, tuberías, accesorios, etc.) no se hará ningún cambio del sistema de enfriamiento. Su puntuación es de 8.



▪ **Accesibilidad de los equipos y recursos necesarios para su instalación:** como ya se explicó anteriormente no se realizará ningún cambio en el sistema de enfriamiento, solo es necesario implementar los formatos de control operativo realizado en este trabajo especial de grado, el cual se le facilitó a la empresa, específicamente al personal de los departamentos de calidad y mantenimiento. Además, se explicó claramente como debe ser aplicado dicho control para su buen funcionamiento, es decir, actualmente la empresa cuenta con los equipos y recursos necesarios para la implementación de esta propuesta. Por ende, su puntuación es de 10.

5.4.2. PROPUESTA 2. Control automático del sistema de pretratamiento.

A continuación se explican en detalle los factores que se tomaron en cuenta para el desarrollo de esta propuesta.

▪ **Receptividad de la empresa:** esta alternativa presenta una gran receptividad por parte de la empresa debido a la ausencia de personal capacitado para el control manual del sistema de enfriamiento del agua y a los diversos problemas que se han venido ocasionando al pasar de los años con los proveedores de los químicos, quienes son los responsables de controlar la dosificación de dichas sustancias y caracterizar el agua de enfriamiento para resolver los problemas que se puedan ocasionar. Sin embargo, como la inversión inicial para la implementación de esta propuesta es mayor a la de la propuesta 1, se le asignó a este factor una puntuación igual a 7.

▪ **Costos operacionales y de instalación:** los costos de instalación de esta alternativa a pesar de ser asequibles para la empresa, representan una inversión inicial elevada igual a Bs. 31.789,6. Por ello se asigna una puntuación igual a 6.

▪ **Tiempo:** la implementación de esta alternativa de solución no implica una gran pérdida de tiempo, debido a que no es necesario realizar una parada de planta para realizar la instalación de equipos automáticos de control y por ende, el



factor tiempo no representaría pérdidas de dinero para la empresa. Por lo tanto se le asignó una puntuación de 10.

- **Aprovechamiento de los equipos existentes en el sistema:** la alternativa planteada requiere de la compra de nuevos equipos para el control del proceso de enfriamiento del agua. Sin embargo los enfriadores, tuberías, accesorios, filtro de arena, filtro de carbón activado y demás equipos ya instalados, no serán removidos. Es decir, esta propuesta pretende mejorar el proceso con la compra de nuevos equipos y la utilización de los equipos ya existentes en planta, exceptuando el suavizador. Por ende, Su puntuación es 6.

- **Accesibilidad de los equipos y recursos necesarios para su instalación:** con la cotización que se realizó para el establecimiento de esta propuesta, queda evidenciado la accesibilidad de los equipos. Además, la empresa en caso de ser su interés puede realizar cotizaciones a otros proveedores ubicados en la zona industrial de Valencia, Edo. Carabobo. Su puntuación es de 10.

5.5 Determinación de la relación costo beneficio de la alternativa seleccionada.

Una vez seleccionada la propuesta 1 para el control manual del sistema de tratamiento del agua de enfriamiento, se procedió a estimar los costos de inversión necesarios para la realización del estudio económico, el cual está basado en un lapso de tiempo de un año.

5.5.1 Costos

El costo de la inversión, viene dado por los costos asociados al equipo multiparamétrico HI98130, el kit para medir dureza y la fabricación de la tapa de la parte superior del tanque de almacenamiento 2. Estos costos se obtuvieron mediante cotizaciones realizadas a empresas que ofrecen estos productos. En la siguiente tabla 5.15 se muestran los costos generados para la inversión inicial que comprende la propuesta seleccionada.

Tabla 5.15 Inversión inicial de la propuesta seleccionada.

Productos	Costos (Bs)
Equipo multiparamétrico	3.950,00
Kit de dureza	242,63
Tapa del tanque de almacenamiento 2	545,00

Para el cálculo del costo neto asociado a la propuesta seleccionada, se hizo uso de la siguiente ecuación III:

$$C_n = \sum_{i=1}^3 (3.950,00 + 242,63 + 545,00) Bs = 4.737,63 Bs$$

Es necesario destacar que ya la empresa Maggie Paul C.A. compró el equipo multiparamétrico y el kit de dureza para facilitar el desarrollo del presente trabajo especial de grado. Sin embargo, se toman en consideración estos costos para evaluar la rentabilidad económica de la propuesta.

5.5.2. Beneficios asociados a la propuesta seleccionada.

A continuación en la tabla 5.16 se muestran los costos asociados al sistema bajo el régimen de operación actual y el que se pretende implementar por medio de la propuesta seleccionada.



Tabla 5.16 Costos asociados a los productos químicos del proveedor actual y el proveedor propuesto.

Actividad	Proveedor actual (Bs / año)	Proveedor propuesto (Bs / año)	Recomendación (Bs / año)
Químicos	29.439,30	23.676,97	6.933,57

El cálculo del costo de los químicos viene referido a la cantidad de producto que se gasta anualmente con el proveedor actual y el del sistema propuesto por el proveedor que se seleccionó, según la dosificación recomendada por cada uno de ellos y los precios que ofrecen. Obteniendo así, que los productos del proveedor actual se consumen en un tiempo aproximado de 2 meses mientras que, los productos del proveedor propuesto se consumen en un tiempo aproximado de 76 días. Adicionalmente, la dosificación recomendada mediante este trabajo de investigación correspondiente a 5 L a la semana del anticorrosivo y 2 L a la semana del desinfectante, por lo que los productos se consumen en 10 meses aproximadamente y por lo tanto, el costo por consumo de químicos se reduce considerablemente. Sustituyendo los valores en la ecuación IV, se obtiene el ahorro anual por ajuste en la dosificación de químicos:

$$B_{adq} = (29.439,30 - 6.933,57)Bs/año = 22.505,73 Bs/año$$

Es necesario destacar, que el proveedor actual no ha realizado la caracterización mensual del agua de proceso desde noviembre del año pasado, por lo que se ha generado un gasto adicional a la empresa para realizar las caracterizaciones en un laboratorio externo a las instalaciones de la planta. Este gasto tiene un valor igual a 3.857,28 Bs/año, según los precios actuales que ofrece Hidrolab. Mientras que el proveedor propuesto, no ofrece ningún costo adicional a la compra de los químicos para realizar dichas caracterizaciones mensualmente, lo



cual representa un beneficio. Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación V, se tiene:

$$B_{cp} = (3.857,28 - 0)Bs/año = \mathbf{3.857,28 Bs/año}$$

Adicionalmente se considera el beneficio relacionado a los costos por paradas en lo concerniente al desmontaje de los moldes por la presencia de incrustaciones y recalentamiento, aunque es difícil de obtener el costo por año. Se sabe, que en el año 2009 se pararon 20 máquinas bajo estas condiciones mientras que con la propuesta seleccionada, durante el transcurso de este año sólo se ha parado una máquina en el mes de marzo por razones de recalentamiento del molde por la presencia de espuma en el agua de enfriamiento, sin observar sólidos depositados en los canales de los moldes.

Entonces, el beneficio neto obtenido al implementar la propuesta seleccionada viene representado por la sumatoria del ahorro que se tiene en cuanto al cambio de proveedor y ajuste en la dosificación de los químicos, tal como se muestra a continuación, sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación VI:

$$B_n = (22.505,73 + 3.857,28)Bs/año = \mathbf{26.363,01 Bs/año}$$

Finalmente, la relación costo beneficio para un año, se ve reflejada sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación VII, tal como se muestra a continuación:

$$R = \frac{26.363,01 Bs}{4.737,63 Bs} = \mathbf{5,56 Adim}$$

A partir del valor obtenido anteriormente se puede decir que la inversión realizada para la implementación de la propuesta 1 queda justificada, ya que es significativamente mayor a 1 e indican que los beneficios obtenidos son 5 veces mayor a los costos involucrados para la inversión inicial.

CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones y recomendaciones más importantes que se alcanzan una vez llevada a cabo la investigación

1. Los canales de enfriamiento de los moldes de las máquinas de inyección y de soplado, presentaban incrustaciones de sólidos blancos, principalmente ocasionadas por la precipitación de las sales de calcio y magnesio.
2. Las incrustaciones presentes en el sistema se debieron principalmente a que el sistema de pretratamiento que está instalado en la empresa no estaba siendo utilizado, a una alta dosificación de químicos por parte de los proveedores, a la ausencia de la realización de purgas y a que el tanque de almacenamiento 2 se encuentra abierto al ambiente.
3. Las incrustaciones disminuyen el tiempo de vida útil de los moldes y equipos.
4. La ausencia de un monitoreo continuo de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua generó un aumento sustancial de estos valores con respecto a lo requerido por el sistema.
5. La alta dosificación del desinfectante a base de amonio cuaternario generó formación de espuma en el agua de proceso y la alta dosificación del anticorrosivo-antiincrustante a base de nitritos generó un aumento progresivo de los valores de pH, conductividad, total de sólidos disueltos, nitritos y nitratos.
6. Las propuestas generadas fueron consecuencia del alto abandono y desconocimiento por parte del personal que labora en la empresa.
7. La propuesta seleccionada es la 1, la cual comprende a un control manual del sistema actual del pretratamiento de agua cruda de Maggie Paul C.A.
8. Con la implementación de la propuesta 1, se podrá controlar correctamente el sistema de pretratamiento del agua y ajustar los valores de pH, dureza, conductividad, sólidos disueltos totales y nitritos.
9. El porcentaje de dosificación del anticorrosivo-antiincrustante y el del biocida es de 5 L a la semana y 2 L a la semana respectivamente.
10. La relación costo beneficio es igual a 5,56 Adim, por lo que queda justificada la implementación de la propuesta 1.



RECOMENDACIONES

- Implementar la alternativa seleccionada para lograr la disminución de las incrustaciones presentes en el sistema de enfriamiento del agua, considerando que la misma resulta rentable.
- Condenar la tubería por donde se desplaza el agua de Hidrocentro hacia el tanque de almacenamiento 2 a fin de impedir que se suministre agua cruda al sistema de enfriamiento.
- Cambiar el temporizador del sistema de dosificación de químicos por uno nuevo, para de esta manera no realizar la dosificación manual y así evitar posibles fallas por adicionarle al agua de proceso cantidades inapropiadas de estos químicos.
- Tener en los químicos, dos biocidas diferentes e intercambiar cada 2 días la dosificación de éstos, para que así las bacterias puedan ser atacadas.
- Instalar una tubería en la purga del tanque de almacenamiento 2 que se dirija hasta el desagüe, para evitar la acumulación del agua en la zona de trabajo cuando se realizan las purgas, por medidas de seguridad.
- Además del control automático indicado en la propuesta II, se debe medir manualmente los nitritos en el tanque de almacenamiento 2, para asegurar la correcta dosificación de los químicos.
- La dosificación del antiincrustante-anticorrosivo debe ser continua y no por carga, ya que el sistema de enfriamiento cerrado utilizado en la planta es continuo, permitiendo la formación de incrustaciones en todo momento.
- Conectar un tanque con grava, arena y solución salina al suavizador, para llevar a cabo la regeneración de la resina de la manera más adecuada.



- La sal empleada para llevar a cabo la regeneración de la resina debe ser en polvo y no en cristales, ya que estos cristales no disueltos ocasionan daños irreparables en el equipo.
- Analizar la relación costo-beneficio de la segunda propuesta planteadas para su futura implementación.
- Evaluar el comportamiento de otras variables descartadas en esta investigación para conocer su influencia sobre la formación de incrustaciones en el sistema de enfriamiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WEF (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de Santos Ediciones S.A., España.
- Aqua Purification Systems (2000 – 2009). Productos Químicos para el tratamiento de agua. Documento en línea]. Disponible en: <http://www.aquapurificacion.com/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm>
- Avila, L. (2008). Instalación, operación y capacitación de operadores sobre una sopladora de envases de polietileno. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Avilla, J. (1999). Lo esencial de acerca del intercambio iónico. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/5-6-02avilla.pdf>
- Aurazo, A. y otros (2002). Manual del tratamiento de agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Perú.
- Balance de energía (2007). [Documento en línea]. Disponible en: <http://procesos.netfirms.com/informe/node8.html>. [Consulta: 2010, enero 24].
- Cabrera, F y N. Santander (2002). Mejoramiento de los sistemas de enfriamiento de los equipos de inyección de plástico de la empresa Metalgráfica S.A. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Calderón, R. (2006). Propuesta de un programa de mantenimiento general para moldes en el departamento de inyección en la empresa Induplastic S.A. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. [Documento en línea]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7375.pdf



- Carbotecnia. (2007). Sistemas de tratamiento de agua y aire. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.carbotecnia.info/>
- Cenproaca. (1995). Sistemas de eliminación de hierro y manganeso. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cenproaca.com/Filtracion.htm>
- Darribax, D. (2009). Ingeniería de fabricación/ Moldeo por inyección. [Documento en línea]. Disponible en: <http://es.wikibooks.org/w/index.php?oldid=125183> . [Consulta: 26 de enero de 2010].
- Díaz, Y (2005). *Evaluación energética en el sistema de enfriamiento de la planta de sulfonación de Clariant Venezuela*. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Desmineralizadores (2006 – 2010). [Página web]. Disponible en: <http://www.desmineralizadores.com/index.html>
- Excel Water (2007). [Página web]. Disponible en: <http://www.excelwater.com/esp/indexsp.php>
- Eduteka (2006). Tecnologías de información y comunicaciones para la enseñanza básica y media. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>
- García, N y Y. Marcano. (2001). Evaluación de un sistema de enfriamiento de agua en el área de trefilación de una planta productora de alambre. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Gómez, L. (2007). Propuestas para el pretratamiento del agua empleada en el sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire del instituto autónomo aeropuerto internacional de Maiquetía (I.A.A.I.M.). Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.



- Guzmán, V (2008). Propuesta de mejora al sistema de enfriamiento de las máquinas de producción de envases plástico, de la empresa Metalgráfica S.A. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Hanna Instruments (2004). [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.hannachile.com/noticias-articulos-y-consejos/articulos/198-conceptos-ph#> Miércoles, 29 Septiembre 2004. [Consulta: 10 de febrero de 2010].
- Hernández, M. (1999). Rediseño del sistema de Enfriamiento de agua de una planta de elaboración de mezcla base para pigmentación. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Kalipedia (2009). El moldeo en kalipedia Venezuela. [Documento en línea]. Disponible en: http://ve.kalipedia.com/tecnologia/tema/materiales/moldeo.html?x=20070822klpingtcn_42.Kes&ap=2 [Consulta: 2010, Febrero 22].
- Lenntech (1998-2009). Tratamiento y purificación del agua. [Página Web]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/>
- Martínez, H. (2008). Ampliación y redistribución del proceso de soplado de botella pet, para una planta embotelladora. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Maquinas de inyección, (2008). [Documento en línea]. Disponible en: http://www.mateusole.net/castellano/ocasion_iny.asp. [Consulta: 2009, Diciembre 15].
- Mérida, A. (2005) Propuesta de un programa de control de calidad en la elaboración de envases y tapaderas plásticas. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería



Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala. [Documento pdf]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_5999.pdf

- Norma Oficial Mexicana. Nom-127-ssa1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". México.
- Norma Venezolana (2002). COVENIN 2709. Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo
- Norma Venezolana. (2001) COVENIN 3664. Productos químicos para uso industrial. Hipocloritos utilizados en el tratamiento de potabilización de aguas. Requisitos y métodos de ensayo.
- Norma Venezolana (1995). Normas Oficiales para la calidad del agua. Gaceta Oficial N° 5.021. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Caracas Venezuela.
- Norma Venezolana (1991). COVENIN 2771. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de Dureza.
- Pérez, E. (2004). Evaluación y mejoramiento del tratamiento químico del sistema de enfriamiento indirecto de una industria metalúrgica. Caso: ALUCASA. Trabajo de grado. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Perry, R y otros (1992). Manual del Ingeniero Químico (5ta edición Volumen 3). Editorial McGrawHill, México.
- Polinter (2009). Poliolefinas Internacionales. [Página Web]. Disponible en: <http://www.polinter.com.ve/>
- Propilven (1990 – 2005). [Documento en línea]. Disponible en: http://www.propilven.com/pro_poli.asp



- Rigola, M. (1999). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. (Volumen 1). Editorial: Alfaomega, México, D. F.
- Rodriguez, A y otros (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Streeter, V (1971). Mecánica de fluidos (4ta edición). México: McGrawHill.
- Solvay Indupa (2010). Proceso de transformación. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.solvayindupa.com/processosdetransformacao/processingmethod/>
- TextosCientificos (2005). Moldeado, inyección, extrusión. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>
- TodoAgua (2007). Suavizadores de agua. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.todoagua.aqua-soft.com.mx/>
- Todochiller (2006-2009). Teoría del chiller. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>
- Vila, P. (2006). Manual de evaluación de la calidad del agua. Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Santiago de Chile. [Documento pdf]. Disponible en: http://www.cenma.cl/cenma/nuevo/descargas/manual_calidad_agua.pdf
- Welty, J y col (1991). Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa (1era edición). México: Editorial Limusa, S.A.
- Wittcoff, H. (2000). Productos químicos orgánicos industriales: tecnología, formulaciones y usos. (Volumen 2). Editorial: Limusa: México.

**APÉNDICE A****NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES**

En esta sección se presentan las normas nacionales e internacionales usadas en el desarrollo de esta investigación.

GACETA OFICIAL DE VENEZUELA. DECRETO N° 883**Tabla A.1.****Clasificación de las aguas.****CAPITULO II****De la clasificación de las aguas**

Artículo 3°: Las aguas se clasifican en:

Tipo 1 Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo I se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub-Tipo 1A:	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub-Tipo 1B:	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub-Tipo 1C:	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Tabla A.2.**Límites máximos de los parámetros fisicoquímicos del agua sub-tipo 1A y 1B.**

Artículo 4°. A los efectos de esta Norma, se establecen los siguientes criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen:

1. Las aguas del Sub-Tipo IA son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5
Color real	menor de 50, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 25, UNT.
Fluoruros	menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%.

2. Las aguas del Sub-Tipo 1B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D.)	mayor de 4,0 mg/l. (*)

Tabla A.3.
Continuación de los límites máximos de los parámetros
fisicoquímicos del agua Sub-tipo 1B

pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	menor de 150, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 250, UNT.
Fluoruros	menos de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%.

3. Las aguas de los Sub-Tipos 1A y 1B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos compuestos	Límites
Aceites minerales	0,3 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	600 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Dispersantes	1,0 mg/l
Dureza, expresada como CaCO ₃	500 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0,15 mg/l
Fenoles	0,002 mg/l
Hierro total	1,0 mg/l
Manganeso total	0,1 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)



NORMA VENEZOLANA COVENIN 2771-91

Tabla A.4.

Aguas naturales, industriales y residuales.

Determinación de dureza

TABLA 1

CLASIFICACION DE LAS AGUAS SEGUN SU DUREZA.

Tipo de agua	mg/L de dureza
Suave	0-75
Moderadamente dura	75-150
Dura	150-300
Muy dura	300

Norma de Panamá**Propuesta para el Suministro de Producto Químico para el Tratamiento de Aguas Tratamiento de Aguas Torres de Enfriamiento y Chiller****Tabla A.5.****Valores recomendables de los parámetros fisicoquímicos del agua.**

ANÁLISIS	AGUA DE:		Valor Recomendable
	Torre	Alimenta- ción	
Conductividad (μ S) (1)	♦	♦♦	≤ 1000
pH (1)	♦	♦♦	7.0 - 8.5
Temperatura ($^{\circ}$ F)	♦		Variable
Alcalinidad P (ppm)	♦		Variable
Alcalinidad M (ppm)	♦		≤ 300
Dureza Total (ppm)	♦		≤ 300
Cloruros (ppm)	♦		Cl Alimenta. x CN
Ciclos (CN)	♦		2-6
Sílice (ppm)	♦♦	♦♦	≤ 150
Hierro (ppm)	♦♦	♦♦	≤ 1
Fosfonatos	♦		10.0 - 20.0 ppm
Nitritos	♦		200 - 400

♦ Se analizará mensualmente
♦♦ Se analizará según sea requerido

Norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994

"Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Tabla A.6.
Límites permisibles de las características químicas del agua

4.3 Límites permisibles de características químicas.

4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN-)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl-)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F-)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15

Tabla A.7.
Continuación de los límites permisibles de las características químicas del agua

Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacoloro y epóxido de heptacoloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 - D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.



APÉNDICE B

TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presentan los datos recopilados en la fase experimental del presente trabajo, indicando cada parámetro o variable a medir durante el proceso.

Tabla B1. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el mes de enero.

F E C H A	Análisis de muestras												CICLOS CONCENT RACION								
	Agua cruda				Agua suavizada				Entrada a los enfriadores					Purga del tanque				Entrada a la planta			
	TDS ppm	EC mmhos /cm	T (°C)	pH	TDS ppm	EC (mmhos s/cm)	T (°C)	pH	TDS ppm	EC (mmhos s/cm)	T (°C)	pH		TDS ppm	EC (mmhos s/cm)	T (°C)	pH	TDS ppm	EC (mmhos /cm)	T (°C)	
1	08:34	7,02	220	430	23,8	7,02	220	440	23,8	9,25	1900	3810	19,5			9,32	1900	3750	10,9	8,64	
9	09:54	7,02	170	340	24,9	7,09	190	350	23,8	9,28	1870	3740	18,7	9,26	1840	3680	9,31	1860	3720	13,7	9,84
	11:27	7,02	170	340	27,6	7,04	190	380	26,2	9,42	2070	4140	20,2	9,48	2100	4200	9,54	2130	4260	12,9	10,89
2	09:30	7,14	170	350	26,2	7,06	180	370	25,6	9,32	2360	4720	19,4	9,38	2310	4630	9,43	2260	4570	10,1	13,11
0	11:20	6,98	160	330	29,1	7,44	170	350	29,6	9,22	2270	4540	20,6	9,31	2250	4500	9,41	2230	4470	13,5	13,35
	09:00	6,96	170	330	27,3	7,20	180	360	27,0	9,42	2370	4740	18,9	9,50	2370	4740	9,55	2360	4720	12,0	13,17
1	11:00	6,90	160	320	30,4	7,17	170	350	27,4	9,40	2360	4720	20,5	9,46	2360	4720	9,60	2380	4720	10,2	13,88
	14:00	6,96	160	330	32,8	7,05	170	340	29,9	9,33	2330	4680	21,4	9,42	2350	4680	9,54	2350	4700	11,2	13,71
	16:00	6,86	160	320	34,6	7,13	170	350	32,2	9,35	2340	4670	32,2	9,41	2340	4670	9,52	2340	4670	10,2	13,76
2	14:00	6,95	150	310	32,4	7,12	170	350	29,0	9,32	2800	5760	20,0	9,57	2880	5750	9,62	2880	5760	10,8	16,47
2	16:00	6,85	160	330	33,1	7,16	170	350	31,0	9,47	2830	5660	20,3	9,53	2860	5680	9,60	2860	5710	12,1	16,65
2	11:00	6,95	170	350	29,2	7,15	170	340	27,6	9,15	2970	5920	20,2	9,25	3030	6050	9,36	3110	6220	10,9	17,47
5																					
2	14:00	6,89	170	340	33,7	7,11	170	340	29,1	9,33	3290	6530	20,9	9,38	3270	6540	9,44	3300	6590	11,2	19,35
5																					
2	16:00	6,85	170	340	32,1	7,19	170	340	29,9	9,31	3280	6560	20,9	9,40	3320	6640	9,45	3280	6560	11,3	19,29
5																					
2	09:00	6,95	200	410	26,0	7,32	180	370	25,6	9,16	3280	6570	18,5	9,21	3290	6590	9,28	3310	6600	12,3	18,22
6																					
2	11:00	6,96	170	350	29,8	7,08	170	340	26,6	9,26	3520	7030	20,2	9,30	3530	7060	9,48	3650	7290	12,1	20,71
6																					
2	09:00	7,01	170	340	26,0	7,01	180	360	26,0	9,21	3750	7490	18,5	9,22	3760	7520	9,29	3810	7630	10,1	20,83
7																					
2	11:00	6,93	170	340	29,1	7,06	190	380	27,3	9,14	3750	7490	19,8	9,17	3770	7530	9,26	3810	7600	10,4	19,74
7																					
2	9:30	7,01	180	360	27,6	7,02	190	390	26,1	9,18	4170	8320	18,9	9,28	4220	8420	9,32	4310	8520	10,2	21,95
8																					
2	11:50	6,88	170	340	30,4	7,04	190	390	29,4	9,16	4160	8320	20,1	9,21	4180	8380	9,28	4240	8460	10,3	21,89
8																					
2	8:10	6,92	180	360	26,7	7,05	190	390	25,0	8,92	4170	8330	19,0	8,95	4180	8360	8,98	4180	8360	10,5	21,95
9																					
2	11:10	6,94	170	340	28,8	7,06	180	360	26,5	8,90	3990	8310	19,4	8,92	4160	8310	8,93	3970	8350	10,2	23,11
9																					

Tabla B3. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos durante el mes de marzo.

F E C H A	Análisis de muestras																								CICLOS CONCENT RACION						
	Agua cruda						Agua suavizada						Entrada a los enfriadores						Purga del tanque							Entrada a la planta					
	pH	TDS ppm	EC mmho /cm	T (°C)			pH	TDS ppm	EC (mmhos /cm)	T (°C)			pH	TDS ppm	EC (mmho s/cm)	T (°C)			pH	TDS ppm	EC (mmho s/cm)	T (°C)				pH	TDS ppm	EC (mmho s/cm)	T (°C)		
1	09:00	6,93	180	380	30,1	6,93	190	380	29,0	8,30	1800	3600	19,9	8,29	1800	3600	19,9	8,32	1690	3350	18,6	9,47									
2	09:00	6,92	170	360	30,6	6,97	190	380	28,6	8,20	1760	3530	17,8	8,18	1760	3510	16,2	8,12	1810	3610	15,8	9,26									
3	09:00	6,95	170	350	29,3	7,02	190	390	29,1	8,20	1790	3590	20,5	8,32	1790	3580	17,0	8,35	1790	3580	14,0	9,4									
4	09:00	6,93	170	360	29,2	7,06	190	390	29,2	8,28	1800	3600	21,0	8,37	1810	3620	18,6	8,40	1820	3650	14,8	9,47									
5	10:30	6,84	170	350	34,0	7,25	200	400	31,4	8,28	1780	3570	21,3	8,39	1840	3680	16,7	8,41	1800	3580	13,1	8,90									
8	10:20	6,90	190	380	29,6	7,05	180	370	29,4	8,34	1620	3250	20,1	8,47	1660	3310	15,0	8,46	1650	3310	13,9	9,00									
9	09:30	6,87	170	350	30,8	7,16	190	380	29,6	8,39	1610	3230	19,6	8,40	1650	3290	16,6	8,49	1640	3280	14,0	8,47									
10	10:30	6,92	170	350	32,7	6,97	180	370	30,8	8,38	1580	3160	22,1	8,46	1610	3220	17,9	8,39	1610	3200	11,7	8,78									
11	09:00	6,95	170	370	30,5	7,02	180	360	30,2	8,35	1570	3150	20,9	8,45	1600	3200	17,5	8,44	1600	3200	11,2	8,72									
12	10:00	6,97	170	350	31,3	7,06	190	380	30,1	8,34	1570	3150	23,0	8,44	1590	3150	17,3	8,47	1600	3200	11,3	8,26									
13	10:00	6,92	180	370	31,5	7,05	190	380	29,8	8,46	1530	3050	21,9	8,48	1540	3070	20,2	8,52	1540	3090	13,3	8,05									
14	08:20	6,97	170	350	29,9	7,02	180	350	29,6	8,47	1390	2780	20,5	8,54	1400	2800	16,0	8,62	1390	2810	11,8	7,72									
15	11:00	7,10	180	390	26,9	7,10	170	350	30,0	8,34	1110	2220	18,6	8,44	1100	2200	15,3	8,37	1080	2170	12,8	6,53									
16	09:00	7,04	180	360	29,3	7,14	180	340	27,8	8,43	950	1880	18,5	8,56	950	1920	11,7	8,62	950	1900	9,6	5,28									
17	16:00	6,92	130	230	35,6	6,94	170	350	35,6	8,88	980	1950	21,2	9,00	990	1980	17,2	8,83	1010	2020	11,1	5,76									
18	08:00	7,14	170	350	27,6	7,08	180	360	26,8	8,77	1000	2000	19,4	8,85	1000	2000	16,6	8,89	1010	2020	10,6	5,56									
19	08:15	7,02	170	350	27,2	7,06	170	350	27,7	8,53	890	1770	18,6	8,61	890	1760	15,6	8,59	870	1690	11,6	5,18									
20	10:45	7,02	170	340	30,5	7,00	170	340	30,2	8,98	960	1910	18,7	9,07	960	1920	16,2	9,06	970	1940	11,3	5,65									
21	08:00	7,13	170	350	26,2	7,14	180	350	27,9	8,93	950	1900	13,1	8,85	950	1900	12,9	8,97	960	1930	12,6	5,28									



APÉNDICE C

FORMATOS DE MANTENIMIENTO Y CONTROL OPERATIVO

A continuación se presentan los formatos para mantener y controlar la calidad del agua, donde se muestran los procedimientos a seguir para el correcto funcionamiento del sistema y además las acciones correctivas y preventivas si alguno de los parámetros fisicoquímicos se salen del rango estándar establecido.



Mantenimiento de Sistemas de Agua de Proceso

1. ELEMENTOS NECESARIOS

- Medidor de pH, EC, TDS (Multiparámetro **HI98129**)
- Kit de Dureza
- Documento de Control Operativo

2. DESARROLLO

Se deberán extraer, a intervalos regulares, muestras de agua: cruda, suavizada y en la entrada a los enfriadores o en su defecto en la entrada a la planta; para efectuarle análisis físico-químicos.

Para los sistemas cerrados de menos de 15 m³ de capacidad, la frecuencia de muestro es mensualmente, para los análisis por el proveedor de químicos y semestralmente por un laboratorio externo.

Los parámetros a ser analizados en el agua de circuito cerrado por el proveedor de químicos son:

- pH
- Dureza Total
- Dureza Cálcica
- Presencia de hierro
- Presencia de cloro
- Sólidos disueltos totales
- Conductividad
- Alcalinidad
- Presencia de sílice
- Presencia de nitritos
- Presencia de sulfatos
- Ciclos de concentración
- Índice de Langelier



Para realizar los análisis cada seis meses, se deberá contratar a un laboratorio externo que acredite idoneidad para llevar a cabo esta tarea y que cumpla los requerimientos técnicos y comerciales. Esto se hará para corroborar los análisis que realiza el proveedor de químicos.

Por cada análisis mensual, que realice el proveedor en cuestión, entregará al responsable de Mantenimiento un informe técnico del estado de los parámetros del agua y recomendará las acciones correctivas en caso de ser necesario; y este a su vez comparará estos análisis con los que realiza el personal de calidad para así corroborar o no la idoneidad de los resultados.

Para el monitoreo constante en la empresa se debe realizar una vez a la semana con el equipo Waterproof (pH, EC, TDS) y cuando el sistema lo amerite; cada 15 días realizar de manera cualitativa el ensayo de dureza.

El tratamiento del agua de proceso será efectuado por un personal entrenado para tal fin. Lo hará empleando los aditivos especificados con la dosis indicada y monitoreando el sistema de pretratamiento.

En condiciones de funcionamiento estable del sistema de agua de proceso, se deberá efectuar un seguimiento semanal del valor del pH, TDS y EC del agua. Dicha frecuencia deberá ajustarse en función de los resultados, también se llevará un seguimiento de la dureza a la salida del suavizador, para así realizar su regeneración. Y de esta manera conseguir la estabilidad de dichos parámetros a través del tiempo dentro del rango definido.

3. PARTE EXPERIMENTAL

- **Procedimiento para realizar los análisis cuando se dosifiquen los químicos.**
 1. Antes de realizar la dosificación de los químicos, tomar una muestra de agua en el tanque de almacenamiento 2 y realizar con el uso del equipo multiparámetro la medición de pH, TDS y EC.
 2. Dosificar los químicos con los siguientes porcentajes:



- RX-118: 50% diario, lo que equivale a 5 L a la semana.
 - Lark sanitizer: 20% diario, 2 L a la semana.
3. Luego de haber sido efectuada la dosificación de los químicos, dejar transcurrir al menos una hora y realizar de nuevo la medición de pH, TDS y EC en una muestra de agua del tanque de almacenamiento 2.
 4. Si alguno de los valores de los parámetros se encontrase fuera del rango, se deberá revisar la guía de control operativo, se tendrá que poner en contacto con el proveedor de químicos y acordara los pasos a seguir para la normalización de ese parámetro.
- **Procedimiento para llevar a cabo la limpieza y enjuague de los filtros y el suavizador, así como también la regeneración de la resina.**

Para una limpieza periódica y efectiva de estos filtros se lleva a cabo el retrolavado, el cual consiste en hacer circular el agua en sentido contrario al de la operación normal del filtro. Esta operación de limpieza y enjuague se debe realizar según el orden en el que se encuentran ubicados, es decir, en primera instancia se realiza la limpieza y el enjuague del filtro de arena, luego del filtro de carbón activado y finalmente el de la resina.

Para realizar el proceso de limpieza de los equipos del pretratamiento, es necesario que el valor de la dureza en la salida del suavizador se encuentre por encima del estándar especificado por la norma (Ver figura C.1). En caso, que dicha condición se verifique se procede a la limpieza de los equipos de la siguiente manera:

En primera instancia, se deben mantener abiertas las válvulas HV-01 y HV-03, del diagrama que se muestra en la siguiente figura, para mantener el flujo de agua hacia la zona del pretratamiento y cerrar la válvula HV-07, de manera que en el proceso de limpieza se evite el paso de agua hacia el tanque de almacenamiento 2.



Posteriormente se procede a realizar el siguiente método operatorio:

1. Abrir las válvulas HV-2A y HV-3A, para lavar el filtro de arena durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de arena controlando el flujo con la válvula HV-3A.
2. Cerrar las válvulas HV-2A y HV-3A.
3. Abrir las válvulas HV-1A y HV-4A para enjuagar hasta que el agua salga limpia o durante un tiempo aproximadamente de (1-3) min.
4. Cerrar la válvula HV-4A.
5. Abrir las válvulas HV-2C y HV-3C para lavar el filtro de carbón durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de carbón controlando el flujo con la válvula HV-3C.
6. Cerrar las válvulas HV-2C y HV-3C.
7. Abrir las válvulas HV-1C y HV-4C para enjuagar el filtro de carbón activado hasta que el agua salga limpia o durante un tiempo aproximadamente de (1-3) min.
8. Cerrar la válvula HV-4C.
9. Abrir las válvulas HV-2S y HV-3S, para lavar el suavizador durante 10 minutos o hasta que el agua salga clara, verificando que no exista pérdida de resina controlando el flujo con la válvula HV-3S.
10. Cerrar las válvulas HV-2S y HV-3S.
11. Abrir las válvulas HV-6S, HV-5S y HV-4S, para llevar a cabo la inyección de sal en el suavizador controlando el flujo de sal con la válvula HV-5S, durante un tiempo aproximado de (10-15) min. La cantidad de sal a usar es 7 Kg disueltos en 20 L de agua.
12. Cerrar la válvula HV-5S, para el enjuague lento de la resina durante 10 minutos.
13. Cerrar HV-6S.
14. Abrir HV-1S, para el enjuague rápido del suavizador, hasta obtener un valor de dureza de servicio.
15. Cerrar HV-4S.
16. Abrir HV-07 para permitir el flujo de agua hacia el tanque de almacenamiento 2.

De esta forma se obtienen las condiciones adecuadas para el buen funcionamiento del pretratamiento de agua cruda.

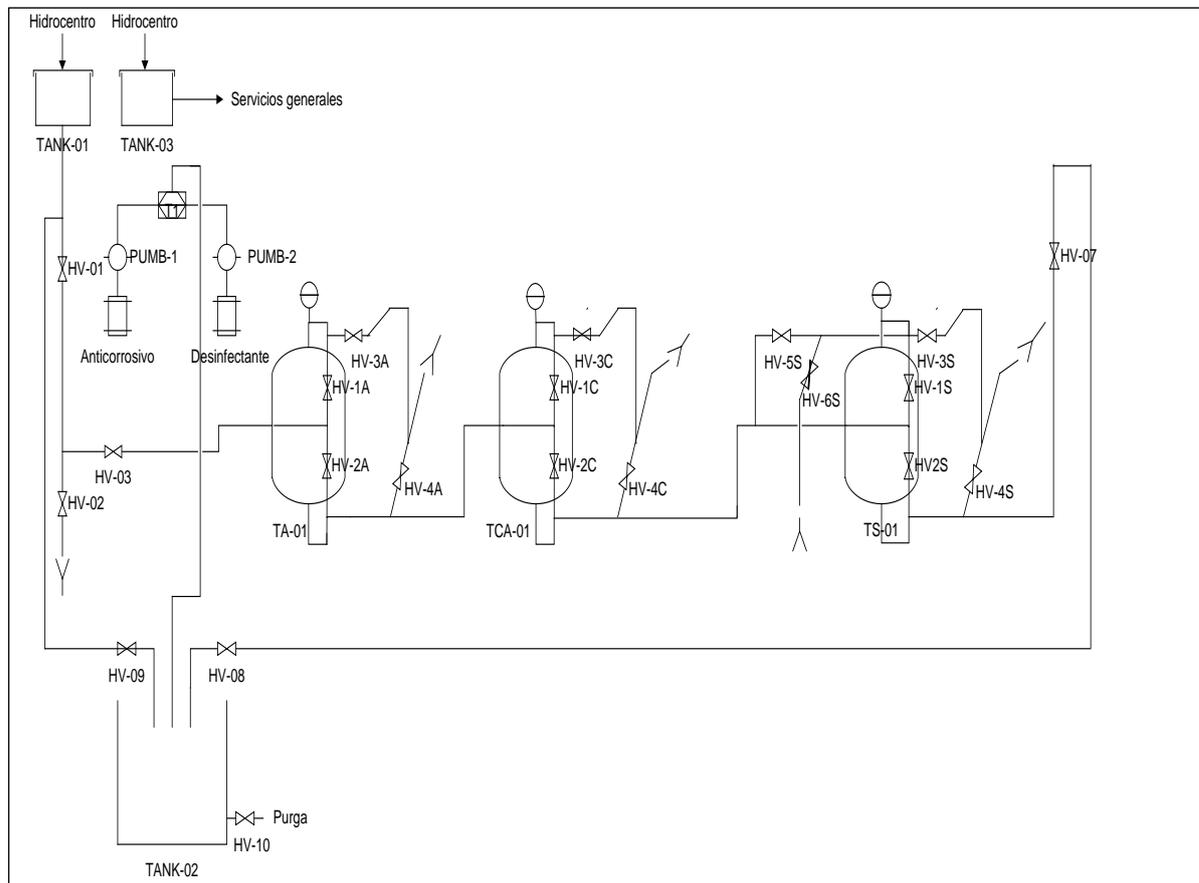


Figura C.1 Diagrama de tuberías e instrumentación de la zona de pretratamiento instalada en la empresa Maggie Paul, C.A.

CONTROL OPERATIVO

Hay muchos problemas y fallas de los sistemas de enfriamiento. Muchos de esos problemas han ocurrido debido a una información y prácticas de mantenimiento incorrectas. La siguiente información solucionará esas áreas de problemas mediante la corrección de la información incorrecta y listando las prácticas adecuadas de mantenimiento. La tabla mostrada abajo es un listado de los problemas más comunes en los sistemas de enfriamiento de hoy.

Punto de muestreo	Parámetro de control	Unidad	Rango	Causa	Consecuencia	Acción Preventiva	Acción Correctiva
AGUA DE ENTRADA A LOS CHILLERS	pH	adim	8,0 – 9,0	<ul style="list-style-type: none"> Exceso en la dosificación de los químicos con alto porcentaje de alcalinidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Un pH elevado ocasiona fragilización caustica, es decir, se vuelve frágil o quebradizo el metal, produciendo fugas. También incrementa la formación de incrustaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Detener dosificación de los químicos. Purgas en el tanque hasta corregir el pH. Comunicarse con el proveedor de los químicos.
				<ul style="list-style-type: none"> No se dosificaron los químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Un pH por debajo del mínimo repercute en ataques corrosivos. 		<ul style="list-style-type: none"> Activar la dosificación de químicos.
	CONDUCTIVIDAD (EC)	µS	< 2000	<ul style="list-style-type: none"> Exceso en la dosificación de los químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> A mayor conductividad la probabilidad de las incrustaciones es mayor. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Detener dosificación de los químicos. Purgas en el tanque hasta corregir la conductividad. Comunicarse con el proveedor de los químicos.

Punto de muestreo	Parámetro de control	Unidad	Rango	Causa	Consecuencia	Acción Preventiva	Acción Correctiva
AGUA DE ENTRADA A LOS CHILLERS	DUREZA	ppm	0 – 30	<ul style="list-style-type: none"> Agotamiento del suavizador. Válvula HV-09 abierta. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de eficiencia de la transferencia de calor en los equipos que necesitan enfriamiento. Taponamiento en las galerías de las máquinas y de los chillers. tratamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un control diario de la dureza cualitativamente en la salida del suavizador. Regenerar adecuadamente el suavizador. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cerrar la válvula HV-07, e inmediatamente realizar la regeneración del suavizador. Cerrar la válvula HV-09.

Punto de muestreo	Parámetro de control	Unidad	Rango	Causa	Consecuencia	Acción Preventiva	Acción Correctiva
AGUA DE ENTRADA A LOS CHILLERS	SÓLIDOS DISUELTOS (TDS)	ppm	< 1500	<ul style="list-style-type: none"> Exceso en la dosificación de los químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos niveles de sólidos disueltos incrementan la formación de incrustaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Detener dosificación de los químicos. Purgas en el tanque hasta corregir los sólidos disueltos. Comunicarse con el proveedor de los químicos.
	CLORURO	ppm	< 600	<ul style="list-style-type: none"> Exceso en la dosificación de los químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Los cloruros disueltos son particularmente corrosivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Purgas en el tanque hasta corregir los cloruros. Comunicarse con el proveedor de los químicos.
	NITRITOS	ppm	200 – 400	<ul style="list-style-type: none"> Exceso en la dosificación de los químicos a base de nitritos. 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento microbiano. Se incrementan las incrustaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Purgas en el tanque hasta corregir los niveles de nitritos. Comunicarse con el proveedor de los químicos.

Punto de muestreo	Parámetro de control	Unidad	Rango	Causa	Consecuencia	Acción Preventiva	Acción Correctiva
AGUA DE ENTRADA A LOS CHILLERS	SÍLICE	ppm	< 150	<ul style="list-style-type: none"> Un pH por debajo del mínimo. Altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> Incrustaciones en zonas calientes, en forma de depósitos blancos duros y aislantes térmicamente. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Purgas en el tanque hasta corregir los niveles de sílice. Aumentar el pH, cuidando que la alcalinidad no aumente considerablemente. Comunicarse con el proveedor de los químicos.
	HIERRO	ppm	< 1,0	<ul style="list-style-type: none"> Un pH por debajo del mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de hierro indica inicio o proceso corrosivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar la dosificación de anticorrosivo.
	CICLOS DE CONCENTRACION (CC)	adim	2 – 6	<ul style="list-style-type: none"> Dosificación constante de químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos ciclos de concentración ocasionan incremento de impurezas en el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. Control de la dosificación de los químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminuir dosificación de químicos. Realizar purgas en el tanque hasta corregir los ciclos de concentración. Comunicarse con el proveedor de los químicos.

Punto de muestreo	Parámetro de control	Unidad	Rango	Causa	Consecuencia	Acción Preventiva	Acción Correctiva
AGUA DE ENTRADA A LOS CHILLERS	INDICE DE L'ANGELIER (LSI)	adim	0,5 – 1,0	<ul style="list-style-type: none"> pH en el sistema 	<ul style="list-style-type: none"> Si el LSI es menor a 0,5 el sistema presenta corrosión. Si el LSI es mayor a 1,0; el sistema presenta incrustaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisar el pH Disminuir niveles de dureza en el agua, revisar eficiencia de procesos de ablandamiento.
	ESPUMA	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Altos contenidos de sólidos disueltos. Exceso en dosificación de químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cavitación de las bombas. Recalentamiento de los moldes de las máquinas. 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la calidad del agua del tanque y en la entrada de la planta. Verificación de parámetros operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Detener el sistema dosificador. Realizar purgas en el sistema. Comunicarse con el proveedor de los químicos.

AGUA DE REPOSICIÓN

El mantenimiento adecuado del sistema de enfriamiento requiere un agua de reposición de calidad. Toda agua de reposición es corrosiva, sin embargo, debe evitarse el uso de agua con alto contenido de minerales. Debe usarse agua que haya sido suavizada por el proceso de sales.



CHEQUEO DIARIO DEL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

Semana del _____ al _____ de _____ Año: _____

TAREA	PARÁMETRO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
		HORA:	HORA:	HORA:	HORA:	HORA:	HORA:	HORA:
VÁLVULAS ABIERTAS:								
HV-01	VERIFICAR							
HV-03								
HV-1A								
HV-1C								
HV-1S								
HV-07								
HV-08								
VÁLVULAS CERRADAS:								
HV-02	VERIFICAR							
HV-2A								
HV-3A								
HV-4A								
HV-2C								
HV-3C								
HV-4C								
HV-2S								
HV-3S								
HV-4S								
HV-5S								
HV-6S								
HV-09								
NIVEL DE QUÍMICOS	VERIFICAR							
CEBA DE BOMBAS DE LOS QUÍMICOS	AJUSTAR							
FORMACIÓN DE ESPUMA EN EL TANQUE	VERIFICAR							
OLOR DEL AGUA EN EL TANQUE	VERIFICAR							
COLOR DEL AGUA EN EL TANQUE	VERIFICAR							
SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL TANQUE	VERIFICAR							
FIRMA DEL RESPONSABLE								

OBSERVACIONES:

Nota: Si las observaciones registradas requieren una intervención de mantenimiento, abrir un documento ya sea electrónico o un formato especial, el cual quedará abierto hasta la solución del problema



Maggie Paul, C.A.
RF: J47528352-6

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 1 DE 5

REVISION: EDICION:

1.0 TITULO

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE pH, EC y TDS EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO

2.0 OBJETIVO

Describir de manera ilustrada la determinación del pH, EC y TDS haciendo uso del instrumento idóneo para su lectura.

3.0 CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica a tres puntos de muestreo: agua cruda, suavizada y agua de entrada a los chillers o de entrada a la planta.

4.0 DEFINICIONES

pH: medida de acidez o basicidad del agua

EC: medida de conductividad eléctrica

TDS: medida de sólidos disueltos totales

5.0 RESPONSABILIDADES

Es responsabilidad del Supervisor de Aseguramiento de la Calidad determinar las características descritas en este instructivo, siguiendo los pasos descritos en las actividades siguientes.

Revisado Por:

Aprobado Por:

Fecha de Emisión:

Gerente de Aseg. de la Calidad

Gerente General

17/05/10



Maggie Paul, C.A.
RIF: J-01528352-0

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 2 DE 6

REVISION: EDICION:

6.0 ACTIVIDADES

Equipo

Multiparámetro HI 9130

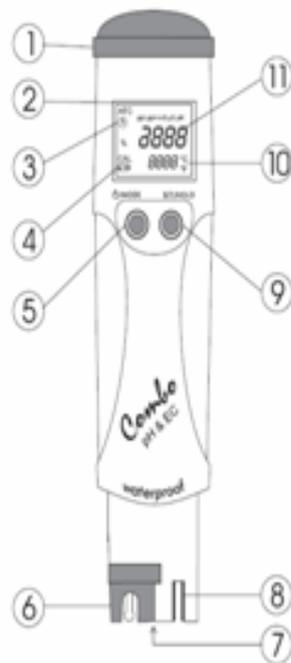


Fig. 1



Fig. 2

1. Compartimiento de las pilas
2. Pantalla de Cristal Líquido (VCL)
3. Indicador de Estabilidad
4. Indicador de Pila baja
5. Botón ON/OFF/MODO
6. HI 73127 electrodo de pH
7. Sensor de Temperatura
8. Sonda CE/TDS
9. Botón CONFIGURAR/CONGELAR
10. Pantalla VCL Secundaria
11. Pantalla VCL Primaria



Maggie Paul, C.A.
NIF. J-07526324-6

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 3 DE 5

REVISION: EDICION:

Guía Operacional

1. **Encender el medidor y comprobar estado de las pilas.**
 - 1.1. Mantenga pulsado el botón MODE durante 2-3 segundos. Todos los segmentos utilizados en pantalla serán visibles durante breves segundos, seguido de una indicación porcentual del nivel de pilas restante. P. Ej. % 100 BATT.
2. **Toma de muestra**
 - 2.1. En un beaker de plástico de 50 mL, curar con la muestra de agua a analizar.
 - 2.2. Tomar aproximadamente 30 mL del agua a analizar.
3. **Cambiar la unidad de temperatura.**
 - 3.1. Para cambiar la unidad de temperatura (de °C a °F), desde modo medición, mantenga pulsado el botón MODE hasta que aparezca TEMP y la unidad de temperatura en curso en la pantalla inferior. Ej. TEMP °C.
 - 3.2. Use el botón SET/HOLD para cambiar la unidad de temperatura, y a continuación pulse MODE dos veces para volver a modo medición normal.
4. **Congelar datos en pantalla.**
 - 4.1. Pulse el botón SET/HOLD durante 2-3 segundos hasta que aparezca HOLD en la pantalla secundaria.
 - 4.2. Pulse cualquiera de los dos botones para volver a modo normal.
5. **Desconectar el medidor**
 - 5.1. Pulse el botón MODE mientras está en modo medición normal. Aparecerá OFF en la parte inferior de la pantalla. Suelte el botón.

Notas:

- Si se realizan mediciones sucesivas en diferentes muestras, lave la sonda minuciosamente para eliminar la contaminación cruzada; y tras la limpieza, enjuague la sonda con parte de la muestra a analizar.
- Use vasos de plástico para minimizar cualquier interferencia.



Maggie Paul, C.A.
RIF: J-01729333-0

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 4 DE 6

REVISION: EDICION:

Secuencia de medición

1. pH



Figura. 3

1. Encienda el equipo en ON (1) (Ver figura 3)
2. Seleccione el modo de pH (2) (Ver figura 3)
3. Sumerja el electrodo en la solución a analizar. (Fig. 4 en fig. 5)
4. Las mediciones deberán tomarse cuando desaparezca el símbolo de estabilidad (⌚) en la parte superior izquierda de la pantalla.
5. El valor pH con compensación automática de temperatura se muestra en la pantalla primaria mientras que la pantalla secundaria muestra la temperatura de la muestra.



Figura. 6

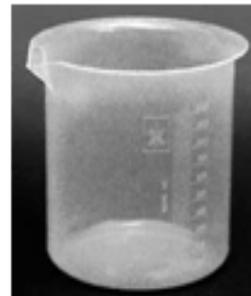


Figura. 5



Figura. 4

2. EC

6. Mantener el equipo sumergido en la muestra de agua. (Ver figura 4 y 5)
7. Seleccione modo EC con el botón SET/HOLD (5) (Fig. 7)
8. Las mediciones deberán tomarse cuando desaparezca el símbolo de estabilidad (⌚) de la parte superior izquierda de la pantalla. Fig. 8
9. El valor EC con compensación automática de temperatura se muestra en la pantalla primaria mientras que la secundaria muestra la temperatura de la muestra.
10. Multiplicar el valor de EC por 1000 para obtenerlo en unidades de mmhoms/cm.

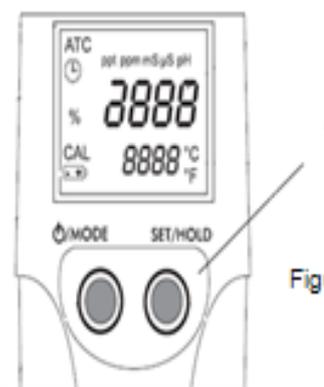


Figura. 7



Figura. 8

Maggie Paul, C.A.
RIF: J407528352-0

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 5 DE 5

REVISION: EDICION:

3. TDS

10. Mantener el equipo sumergido en la muestra de agua. (Ver figura 4 y 5)

7. Seleccione modo TDS con el botón SET/HOLD (1) (Fig. 7)

8. Las mediciones deberán tomarse cuando desaparezca el símbolo de estabilidad ⌚ de la parte superior izquierda de la pantalla. Fig. 9

9. El valor TDS con compensación automática de temperatura se muestra en la pantalla primaria mientras que la secundaria muestra la temperatura de la muestra.

10. Multiplicar el valor de TDS por 1000 para obtenerlo en unidades de ppm



Figura. 9

4. REFERENCIAS

Plan de Calidad

Control Operativo

5. REGISTROS DE LA INFORMACIÓN

5.1 Hoja de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua



Maggie Paul, C.A.
RF: J-01728192-6

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 1 DE 4

REVISION: EDICION:

1.0 TITULO

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL DEL AGUA

2.0 OBJETIVO

Describir de manera ilustrada la determinación de dureza haciendo uso de los instrumentos y reactivos idóneos para su análisis.

3.0 CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica a tres puntos de muestreo: agua cruda, suavizada y agua de entrada a los chillers o de entrada a la planta.

4.0 DEFINICIONES

Dureza: medida de los iones de Ca^+ y Mg^+ presentes en el agua, los cuales causan incrustaciones en el sistema.

5.0 RESPONSABILIDADES

Es responsabilidad del Supervisor de Aseguramiento de la Calidad determinar las características descritas en este instructivo, siguiendo los pasos descritos en las actividades siguientes.

Revisado Por:

Aprobado Por:

Fecha de Emisión:

Gerente de Aseg. de la Calidad

Gerente General

17/05/10



Meggie Paul, C.A.
RIF: J-07528323-0

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 2 DE 4

REVISION: EDICION:

6.0 ACTIVIDADES

Kit de Dureza



Fig. 1

8.0 Materiales

- Matraz erlenmeyer de 125 mL
- Bureta de 50 mL
- Filtro de 40 µm
- Cilindro graduado de 50 mL

9.0 Reactivos

- Solución EDTA 0.02 N
- Indicador para dureza total: Negro Eriocromo
- Solución buffer: solución Amoniacal

7. MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Utilice los equipos de protección personal, tales como bata blanca, guantes de látex y lentes de seguridad.
- Maneje cuidadosamente los materiales de vidrio.
- Revise las fichas de seguridad o los MSDS de los reactivos que utilizan en este análisis



Maggie Paul, C.A.
RIF: J-01528192-6

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 3 DE 4

REVISION: EDICION:

10.0 Guía Operacional

1. Filtre la muestra si observa sólidos suspendidos para ello utilice filtro de 40 μm y cure los materiales que se van a utilizar.
2. Tome 25 mL de la muestra de agua que se va a analizar y agréguela en un matraz erlenmeyer de 125 mL.
3. Añada 10 gotas de solución buffer (amoníaco) para dureza total. (Fig. 2)
4. Añada una pizca del indicador negro de Eriocromo hasta lograr un color violeta, agite para homogenizar. (Fig 3)
5. Si al agregar el indicador se obtiene en la solución un color azul, la dureza total en la muestra es igual a 0 ppm, es cambio si se obtiene un color violeta, titule con la solución EDTA a 0,002 N lentamente y agite continuamente hasta obtener un viraje de la solución de violeta a azul, este es el punto final de la titulación. (Fig 4 y 5)



Fig. 2



Fig. 3

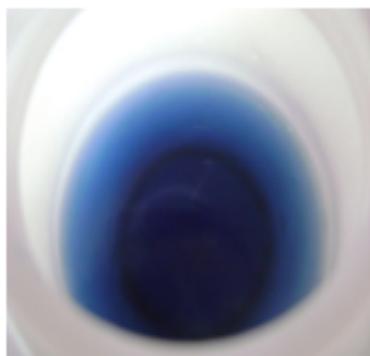


Fig. 4



Fig. 5



Maggie Paul, C.A.
RIF: J40752832-6

INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN

CODIGO:

PAGINA: 4 DE 4

REVISION: EDICION:

12. MODELO DE CÁLCULO

$$DT = a * 40$$

Donde:

DT: Dureza total en ppm CaCO_3

a: MI de reactivo (EDTA) de titulación para la muestra

13. REFERENCIAS

Plan de Calidad

Control Operativo

14. REGISTROS DE LA INFORMACIÓN

14.1 Hoja de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua



<div style="text-align: center;">  <p>PLAN DE CALIDAD PARA EL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO</p> </div>						
PARAMETRO A CONTROLAR	MÉTODO DE INSPECCIÓN	ESPECIFICACION	EQUIPO DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN	RESPONSABLE	REGISTRO
pH	Instrumental	Ver ruta de medición de parámetros físicoquímicos	Multiparámetro HI98130	Una vez a la semana y cada vez que se dosifiquen los químicos	Supervisor de Aseg. de la Calidad (Mediciones)/ Mantenimiento (Acciones correctivas o preventivas)	Rutinas de Monitoreo Plan de Control
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	Analítico		Kit de dureza	Cada quince días		
Conductividad (EC)						
Dureza Total						
Ciclos de Concentración (CC)	Cálculo	Ver rutinas de monitoreo.	Una vez a la semana y cada vez que se dosifiquen los químicos		
Dureza Total (*)						
Dureza Cálcica (*)						
Alcalinidad (*)						
Hierro (*)						
Silíce (*)						
Nitratos (*)						
Sulfatos (*)						
Cloruros (*)						
Ciclos de Concentración (CC) (*)	Depende del laboratorio que realice la prueba	Ver Plan de Control	Mensualmente por el proveedor de químicos/ Semestralmente con un laboratorio externo	Supervisor de Aseg. de la Calidad (Comparar los valores de los parámetros con los realizados por el proveedor de químicos y por los laboratorios externos) (Mantenimiento (Acciones correctivas o preventivas)	Comparar con los analisis realizados en la empresa
Índice de Langlier (*)						
Revisado Por:		Aprobado Por:		Fecha de Emisión:		
Gerente de Aseg. de la Calidad		Gerente General				