

ALTERNATIVAS PARA REDUCIR LAS PERDIDAS DE AGUA EN EL PROCESO
DE AUTOGENERACIÓN DE CEMENTOS ARGOS PLANTA SOGAMOSO.

DAVID JULIÁN SOTELO LÓPEZ

Monografía para optar el título de Ingeniero industrial

ÁLVARO JAVIER ROJAS BARACALDO
Ingeniero industrial

RICARDO JAVIER PINEDA MELGAREJO
Ingeniero industrial

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
SOGAMOSO
2014

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	5
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN.	7
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1. MARCO TEÓRICO	10
1.1 RESEÑA CEMENTOS ARGOS	10
1.2 INGENIERÍA DE MÉTODOS	11
1.2.1 Representación gráfica de las actividades	11
1.2.2 Perdidas	12
1.2.3 Detección de pérdidas	13
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE AUTOGENERACIÓN	13
1.3.1 Caldera o generación de vapor	14
1.3.2 Turbina	15
1.3.3 Ciclo de enfriamiento	18
1.3.4 Planta de tratamiento de agua industrial.	19
1.4 EL AGUA	20
1.4.1 Tipos de agua	21
1.4.1.1 Agua destilada	20
1.4.1.2 Agua de lagos y ríos	20

1.4.1.3 Aguas residuales	20
1.4.1.4 Agua clarificada	20
1.4.2 Características del agua	21
1.4.2.1 Turbiedad	21
1.4.2.3 Solidos	22
1.4.2.4 Conductividad	22
1.4.2.5 PH	22
1.4.2.6 Dureza	23
1.4.3 Desmineralización	24
1.4.4 Intercambio iónico	25
1.4.4.1 Las resinas selectivas	25
1.4.4.2 Polímeros de adsorción	26
1.4.4.3 Resinas funcionalizadas	26
1.4.4.4 Resinas no funcionalizadas	26
1.4.5 Proceso de intercambio iónico tipo sodio	27
1.4.5.1 Ciclo de regeneración.	29
1.4.5.2 Retro lavado	28
1.4.5.3 Salado	28
1.4.5.4 Lavado	28
1.4.6 Intercambiadores catiónicos ciclo hidrogeno	30
1.4.7 Principios de la Osmosis inversa	31
1.4.7.1 Osmosis	31
1.4.7.2 Filtración directa	33
1.4.7.3 Filtración cruzada	34

1.4.7.4 ¿Cómo difiere la osmosis inversa de la filtración?	35
1.5 TORRES DE ENFRIAMIENTO	37
1.5.1 Fundamento teórico del enfriamiento	37
1.5.2 Teoría de merkel	38
1.5.3 Funcionamiento de las torres de enfriamiento	38
1.5.4 Principales partes de las torres de enfriamiento	40
1.5.4.1 Celda	40
1.5.4.2 Piscina de recolección	39
1.5.4.3 Eliminadores de rocío	40
1.5.4.4 Ventilador	41
1.5.4.5 Chimenea del ventilador	41
1.5.4.6 Relleno	41
1.5.5 Problemas de agua de enfriamiento	41
1.5.5.1 Efectos y tipos de impurezas	42
1.5.5.2 Incrustaciones	42
1.5.5.3 Corrosión	43
1.5.5.4 Ataque microbiológico	44
1.5.5.5 Ensuciamiento	44
1.6 AIRE	44
1.6.1 Humedad	44
1.6.1.1 Humedad absoluta	44
1.6.1.2 Humedad relativa	44
1.6.2 Temperatura de bulbo seco (DB)	44
1.6.3 Temperatura de bulbo humedo (WB)	44

1.6.4	Temperatura de punto de rocío (DP)	44
1.6.5	Radio de humedad (W)	45
1.6.6	Entalpía (H)	45
1.7	REFRIGERACIÓN	46
1.7.1	Refrigerantes	47
1.7.2	Refrigeración por absorción	48
1.7.2.1	Equipos que funcionan con bromuro de litio	51
1.7.3	Sistemas de compresión vs absorción	50
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	53
2.1	TIPO DE ESTUDIO	52
2.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	52
2.3	DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS	52
2.4	DEFINICIÓN DE VARIABLES	53
2.5	CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	53
2.6	INSTRUMENTOS	53
2.7	PROCEDIMIENTOS	54
2.8	ETAPAS	55
2.9	MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS	55
3.	ANÁLISIS DE DATOS	57
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	VERTIMIENTOS	64
4.1	EVAPORACIÓN	71
5.	CONCLUSIONES	74
6.	RECOMENDACIONES	77

7. REFERENCIAS

79

ANEXOS

83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación satelital de planta de cementos ARGOS, planta Sogamoso.	15
Figura 2. Características caldera proceso autogeneración.	16
Figura 3. Turbina proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.	17
Figura 4. Descripción del proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.	18
Figura 5. Ciclo de enfriamiento proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.	19
Figura 6. Planta de tratamiento agua industrial proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.	20
Figura 7. Grados de turbidez del agua.	23
Figura 8. Efectos de la dureza.	24
Figura 9. Cationes y aniones.	25
Figura 10. Sistema de suavización.	28
Figura 11. Intercambio iónico ciclo hidrogeno.	30
Figura 12. Osmosis.	32
Figura 13. Presión osmótica.	32
Figura 14. Flujo de agua pura.	33
Figura 15. Filtración directa	34
Figura 16. Filtración cruzada.	34
Figura 17. Flujo cruzado en el proceso de osmosis inversa.	35
Figura 18. Membrana tubular.	36

Figura 19. Torre de enfriamiento proceso autogeneración, cementos ARGOS planta Sogamoso.	37
Figura 20. Torres de enfriamiento de tiro mecánico inducido contraflujo	39
Figura 21. Incrustación parte externa de una tubería.	43
Figura 22. Corrosión en el interior de un tubo.	44
Figura 23. Ciclo refrigeración por compresión.	47
Figura 24. Ciclo refrigeración por absorción.	49
Figura 25. Diagrama temperatura concentración vapor-liquido.	50
Figura 26. Grafica Comportamiento de tanques de agua del proceso de autogeneración.	57
Figura 27. Grafico regresión lineal nivel tanque de succión.	59
Figura 28. Grafico regresión lineal conductividad.	59
Figura 29. Grafico regresión lineal nivel agua clarificada.	60
Figura 30. Grafica datos de consumo y pérdidas de agua.	61
Figura 31. Representación del área bajo la curva del consumo.	62
Figura 32 Representación del área bajo la curva de la evaporación.	63
Figura 33 Representación del área bajo la curva del vertimiento.	64
Figura 34. Alternativas para eliminar las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso.	65
Figura 35. Sistema de desmineralización por intercambio iónico.	67
Figura 36. Sistema de desmineralización por osmosis inversa.	68
Figura 37 Diagrama de proceso de operación de proceso de desmineralización.	69
Figura 38. Diagrama de flujo de proceso de desmineralización.	70

Figura 39. Ubicación de la planta de desmineralización propuesta.	71
Figura 40. Distribución de planta de desmineralización	72
Figura 41. Proceso de condensación del vapor de la torre de enfriamiento.	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Comportamiento de tanques de agua del proceso de autogeneración	84
Anexo B. Datos de consumo y pérdidas del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso 2014	85
Anexo C. Ubicación en curva de distribución normal	86
Anexo D. Anti incrustante osmosis	87
Anexo E. Solicitud de licencias de captación y vertimiento	88
Anexo F. Formatos de captación y vertimiento del proceso de autogeneración.	90
Anexo G. Certificado de calibración de medidores de flujo de captación y vertimiento del proceso de autogeneración.	92
Anexo H. Propuesta para minimizar las pérdidas de agua por evaporación.	94

GLOSARIO

AUTOGENERADOR:

Es aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del sistema de interconexión nacional, y puede o no, ser el propietario del sistema de generación. (Ley 143/94 CREG 084/96)

CALDERA:

“Es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica”(Araucaniasur, 2014,p 3).

CAPTACIÓN:

Se entiende por captación el punto o puntos de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras de diferente naturaleza que deben realizarse para su recogida. Las captaciones de aguas superficiales pueden ser de agua de lluvia (pluviales), arroyos y ríos y por ultimo de lagos o de embalses. (López, 2014, p.2)

OSMOSIS INVERSA:

Proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable, desde una solución más concentrada en sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión. El Objetivo de la Osmosis Inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua con gran cantidad de sales como puede ser el agua de Mar. (Deltech, 2014)

PURGAS:

Son corrientes de producto en este caso agua que se utilizan cuando existen materiales no reactivos dentro de un proceso con recirculación, los cuales se deben retirar para evitar que estos materiales se acumulen en el proceso. (Jiménez, 2012, p.1).

En este caso específico las purgas se utilizan en la caldera y la torre de enfriamiento ya que son sistemas de recirculación y evaporación, por ende la concentración de sales debe ser controlada por medio de purgas para evitar el daño de los equipos bien sea por corrosión o incrustación.

REFRIGERACIÓN:

Es aquel proceso mediante el cual se busca bajar o reducir la temperatura del ambiente, de un objeto o de un espacio cerrado a partir del enfriamiento de las partículas. Este proceso de refrigeración es por lo general artificial aunque sus principios se basan en la refrigeración natural que se da en el medio ambiente. (Definición ABC, 2014)

TORRE DE ENFRIAMIENTO:

“Estos equipos son denominados intercambiadores de calor que enfrían agua por medio de la evaporación. Este tipo de enfriadores se utiliza principalmente en los condensadores industriales, donde se requieren rangos de enfriamiento bajos, donde generalmente están entre 5 y 25°C” (Contreras, 2013, p.4).

TURBINA DE VAPOR:

Es una máquina de fluido en la que la energía de éste pasa al eje de la máquina saliendo el fluido de ésta con menor cantidad de energía. La energía mecánica del eje procede en la parte de la energía mecánica que tenía la corriente y por otra de la energía térmica disponible transformada en parte en mecánica por expansión. Esta expansión es posible por la variación del volumen específico del fluido que evoluciona en la máquina. (MAVAINSA, 2104, p.1)

VERTIMIENTO:

“Es cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado” (Ministerio de agricultura & salud, 1984).

INTRODUCCIÓN

En la industria, los procesos de generación de energía eléctrica independientes a la red pública son de considerable interés debido a las ventajas que estos traen a la producción. En particular, esta monografía se concentra en estudiar la influencia que tiene la calidad del agua en la optimización de los procesos de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso.

El agua desempeña un papel fundamental en procesos termodinámicos, tales como, la generación de vapor y el enfriamiento. Sin embargo, al ser este un recurso natural no renovable es importante formular soluciones en dirección a su uso eficiente. Por esto, para garantizar la sostenibilidad del proceso de autogeneración se requiere minimizar las pérdidas de agua de cualquier naturaleza.

En este trabajo se presenta un estudio detallado de los métodos utilizados para analizar las pérdidas de agua con el objetivo de proponer una solución para la planta de generación de cementos ARGOS. Para esto se ha desarrollado un estudio estadístico de la variabilidad en el balance de masa, teniendo en consideración las características del agua, los diferentes subprocesos donde se emplea y las formas en las que ésta se pierde en cada subproceso.

Los resultados obtenidos de este análisis han permitido determinar el impacto de la alternativa planteada para cada una de las formas en las que se presenta esta pérdida.

La búsqueda de alternativas para minimizar el consumo de agua o buscar formas de aumentar la eficiencia en el uso de este recurso en las plantas de autogeneración, se basa en el diseño de nuevas tecnologías factibles para el tratamiento del agua que está vertiendo del proceso y así reutilizarlas, con el fin de obtener un sistema de cero vertimientos, lo cual significaría una mayor eficiencia del proceso.

La organización de esta monografía es la siguiente. En el primer capítulo se expondrán las diferentes alternativas enfocadas hacia la eliminación de pérdidas en un proceso de generación, posteriormente se realizara el análisis de los datos tomados del proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso para así conocer de forma específica la forma en que se pueden reducir las pérdidas de agua del proceso y así en el siguiente capítulo se expondrán las alternativas para cumplir con el fin propuesto con el trabajo y por último se enumeraran las conclusiones y describirán las diferentes recomendaciones que arroje el desarrollo del trabajo

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a las necesidades del uso de agua en el proceso de autogeneración para su operación, se requiere optimizar su consumo ya que el proceso hace uso de la fuente hídrica del río Chicamocha para suplir las necesidades de agua, la incidencia de factores climatológicos afectan directamente el nivel y las características físico químicas del agua, hasta el punto de impedir su captación y/o tratamiento de clarificación, dificultando así la continuidad de la operación de la planta.

Sin embargo la sostenibilidad del proceso se debe garantizar, por lo tanto se deben tomar las medidas necesarias para garantizar la operatividad del proceso; a pesar de los fenómenos meteorológicos, o que hace que el agua sea el factor a conservar, ya que sin este recurso no es posible generar energía, por tanto, la necesidad de reducir las pérdidas de este recurso es de vital importancia.

La investigación se centró en obtener las bases teóricas, para la reducción de las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, se tuvo como base el estudio de las características de los diferentes vertimientos del proceso y así determinar cuáles son las alternativas para reducir o eliminar las pérdidas de agua, para de esta forma encontrar el ¿Cómo se podría reducir las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso?

JUSTIFICACIÓN

La segunda línea de investigación del programa de ingeniería industrial, "Diseño y gestión de redes y suministros", se concentra en la formulación de alternativas para la optimización de los procesos de producción, aplicando la ingeniería de métodos. En particular, en esta monografía se presenta un estudio de métodos con el objetivo de reducir las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso.

La búsqueda de alternativas y tecnologías para optimizar los recursos utilizados dentro de un proceso productivo, va encaminada a mejorar la eficiencia de cada tarea realizada, enfocando los esfuerzos en mantener la calidad de la producción, además del nivel competitivo en el mercado, cumpliendo así con las necesidades de los clientes.

La aplicación del estudio de métodos en el proceso de autogeneración es de gran importancia en el mejoramiento de los procesos de producción, ya que su ejecución permite no solo establecer mecanismos para la optimización de los recursos, sino también proponer diferentes tecnologías para la realización de una tarea. Por tal razón, la aplicación continua de los principios de métodos, estándares y diseño del trabajo, permite garantizar el cumplimiento de los objetivos en la producción y su perdurabilidad en el tiempo.

Criollo (2002) afirma sobre el estudio de métodos:

“es la técnica que tiene por objetivo aumentar la productividad de trabajo mediante la eliminación de todos los desperdicios de materiales, tiempo y esfuerzo”.

Este proyecto se enmarca en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso, la cual entró en servicio el 16 de octubre del 2010. Este estudio se planteó debido a la necesidad que tenía la planta de cementos de contar con un suministro de energía eléctrica confiable y sostenible. El suministro de energía eléctrica que proviene del Sistema Interconectado Nacional (SIN) presenta desventajas en cuanto a la baja confiabilidad y a las variaciones en la calidad de la energía suministrada. Esto no solo afecta la operación de equipos determinantes en la producción de cemento, sino que también ocasiona pérdidas en la producción debido al desperdicio de energía térmica.

El proceso de autogeneración se encuentra dentro de uno de los procesos de apoyo en la producción de cemento. El objetivo principal de un proceso de autogeneración es la reducción de costos por la compra de energía. Este ahorro

estaría alrededor de un 30%, lo cual pone de manifiesto la relevancia de este proceso en el costo de producción de cemento, cumpliendo con los indicadores financieros propuestos por la organización.

En el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso, la materia prima para la producción de energía eléctrica es el agua. El sostenimiento de este proceso depende de la generación de vapor, ya que a partir de éste se obtiene la energía térmica que será transformada inicialmente en energía mecánica (por una turbina) y posteriormente en energía eléctrica (a través de un generador). De igual forma el agua desempeña un papel fundamental en el enfriamiento del vapor, proceso indispensable para cerrar el ciclo termodinámico de generación termoeléctrica.

Los datos controlados como el flujo de captación, vertimientos y conductividad en el agua cruda en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso, son la base para proponer alternativas para la reducción de pérdidas de agua. Estos datos representan la radiografía que permite determinar cómo se está comportando cada uno de los subprocesos frente al consumo de agua, además de indicar la naturaleza de estas pérdidas en los mismos.

Por tal motivo, para garantizar la sostenibilidad en el tiempo del proceso de autogeneración en cementos ARGOS, planta Sogamoso se propondrá una alternativa teórica para minimizar las pérdidas de agua. Con este objetivo, a partir de los datos recolectados en la planta, se encontrará una relación entre las diferentes variables que inciden en el consumo de agua durante el proceso de autogeneración. Un estudio estadístico permitirá determinar la tendencia del comportamiento temporal de las variables. La interpretación de estos resultados permitirá tener conocimiento de la variabilidad de las pérdidas en el proceso. Con esta información se estará en capacidad de determinar el rumbo en que deberán ser orientadas las alternativas a proponer. Teniendo en cuenta que éstas soluciones deberán enfocarse en la variable que afecte negativamente al proceso.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer una alternativa para la reducción o eliminación de pérdidas de agua de la planta de autogeneración de Cementos ARGOS planta Sogamoso, debido a que el agua es la materia prima del proceso de autogeneración por ende al maximizar la eficiencia del uso de este recurso, se garantizara la sostenibilidad de la generación de energía eléctrica, para suplir la demanda del proceso de producción de cemento.

Objetivos específicos

- Cuantificar los diferentes flujos de pérdidas de agua en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso.
- Enunciar las alternativas que se pueden aplicar para disminuir o eliminar las pérdidas de agua del proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso.
- Describir la aplicación de las alternativas a apropiadas para la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso a través del análisis de datos tomados del proceso.

1. MARCO TEÓRICO

La conceptualización para encontrar las diferentes alternativas para minimizar las pérdidas de agua del proceso de autogeneración planta Sogamoso se realizó enmarcado en la segunda línea de investigación “Diseño y gestión de redes y suministro” en el área de gestión de operaciones donde se encuentra como base la ingeniería de métodos de igual forma expuso las diferentes alternativas para la reducción de pérdidas de agua en el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

1.1 RESEÑA CEMENTOS ARGOS

Argos es una organización multinacional, productora y comercializadora de cemento y concreto, con presencia en Colombia, Estados Unidos y el Caribe. Actualmente, en el negocio del cemento, Argos es el quinto productor más grande en América Latina y el segundo más grande en el sureste de Estados Unidos. Cuenta con nueve plantas en Colombia y dos en Estados Unidos; seis moliendas de clinker ubicadas en Colombia, Estados Unidos, Haití, Panamá, República Dominicana y Surinam; y cinco terminales de recepción y empaque ubicadas en Antigua, Curazao, Dominica, St. Marteen y St. Thomas.

En el negocio del concreto, Argos es el cuarto productor más grande en Estados Unidos. Cuenta con 300 plantas ubicadas en Colombia, Estados Unidos y Panamá. La capacidad instalada total es de 14 millones de metros cúbicos de concreto al año.

En lo referente a la historia de la compañía, Cementos Argos nació en Medellín, Colombia, en 1934 e inició producción luego de dos años de montaje. Desde entonces su crecimiento se ha dado por medio de creaciones, asociaciones, fusiones y adquisiciones. En la década de los noventa empezó a incrementar su presencia en América Latina y, a partir de 2000, en Centroamérica y el Caribe. En 2005 fortaleció su presencia en Estados Unidos mediante la adquisición de negocios estratégicos en varios estados, para lograr así una integración vertical de sus negocios, y fusionó sus ocho compañías asociadas o filiales en Colombia, enfocándose en sus principales negocios.

El líder del mercado cementero en Colombia es Argos con más del 50% participación. Argos es el cuarto productor de Latino América, con operaciones en Estados Unidos, Panamá, República Dominicana, y Haití, adicionalmente exporta a otros 18 países. En nuestro país, su presencia se encuentra representada por 11 plantas de producción de cemento.

1.2 INGENIERÍA DE MÉTODOS

Básicamente se ocupa del estudio y transformación de materias primas o materiales a algo diferente (producto terminado) y sobre todo que sea más aplicable a su forma, tiempo y lugar; Su principal responsabilidad consiste en diseñar el mejor método para lograr esa determinada transformación. (Janania, 2008, p.1)

“La ingeniería de métodos incluye diseñar, crear y seleccionar los mejores métodos, procesos, herramientas, equipo y habilidades de manufactura para fabricar un producto basado en planos y especificaciones desarrollados en la selección de ingeniería del producto” (Niebel & Freivalds, 2004).

El ingeniero de métodos es responsable de diseñar y desarrollar los diversos centros de trabajo en donde se fabricara el producto; ese ingeniero debe estudiar de manera continua los centros de trabajo para encontrar una mejor manera de fabricar el producto y aumentar su calidad. (Niebel & Freivalds, 2004).

Por lo tanto, el objetivo final de la ingeniería de métodos.

Es el incremento de las utilidades de la empresa, analizando los materiales, herramientas, productos de consumo, el espacio, superficies cubiertas, depósitos, almacenes, instalaciones, el tiempo de ejecución y preparación, la energía tanto humana como física mediante una utilización racional de todos los medios disponibles (Sepúlveda, 2008).

En la actualidad conjugar adecuadamente los recursos económicos materiales y humanos origina incrementos de productividad. Con base en la premisa de que en todo proceso siempre se encuentran mejores posibilidades de solución, puede efectuarse un análisis a fin de determinar en qué medida se ajusta cada alternativa a los criterios elegidos y a las especificaciones originales, lo cual se logra a través de los lineamientos del estudio de métodos. (Criollo, 2002, p.36).

Para que al momento de realizar un estudio se cumplan con todos los objetivos propuestos por el autor se debe seguir una metodología.” Un buen programa de ingeniería de métodos sigue un proceso ordenado el cual inicia con la selección del proyecto, obtener y presentar datos, analizar datos, Obtener y presentar datos, presentar e instalar el método, desarrollar análisis del trabajo y Seguimiento” (Niebel & Freivalds, 2004).

1.2.1 Representación gráfica de las actividades

Para poder realizar un estudio o investigación de un proceso bien sea administrativo o de manufactura se deben aplicar gráficos, los cuales ayudan a

evidenciar de forma clara las pérdidas, demoras y esfuerzos de cada uno de los procesos.

Los gráficos utilizados se dividen en dos categorías; los que sirven para consignar una sucesión de hechos o acontecimientos en el orden que ocurren, pero sin producirlo a escala y los que se registran los sucesos, también en el orden en que ocurren, pero indicando su escala en el tiempo, de modo que se observe mejor la acción mutua de sucesos relacionados entre sí. (Sepúlveda, 2008, p.70)

Uno de los diagramas que se emplean para el análisis de un proceso es el diagrama de operaciones de proceso, donde se describen cada una de las operaciones inmersas en el proceso, en la figura 37 , se describe la alternativa para la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

El Diagrama de operaciones de proceso representa gráficamente un cuadro general de cómo se realizan procesos o etapas, considerando únicamente todo lo que respecta a las principales operaciones e inspecciones. Con esto, se entiende que única y exclusivamente se utilizaron los símbolos de operación e inspección. El Diagrama de operaciones de proceso, es aplicable a la elaboración de un producto nuevo y a la elaboración de nuevas instalaciones, así como al análisis de operaciones existentes. (Janania, 2008, p.41)

De igual forma en la propuesta de la solución, se debe tener en cuenta los equipos, la ubicación y distribución en el proceso, para así maximizar los recursos utilizados.

Se trata de determinar el mejor emplazamiento posible para una instalación que se ha de relacionar con otras instalaciones preexistentes, de igual forma consiste en determinar la posición, en cierta porción del espacio, de los diversos elementos que integran el proceso productivo. Se trata, por tanto, de un problema de localización, pero especialmente complejo por el elevado número de unidades tener en cuenta y por qué hay interacción entre ellas. (Vallhonrat, & Corominas, 1991)

La distribución de Planta incluye la definición de las relaciones entre las áreas de actividad, como edificios, departamentos y lugares de trabajo; el espacio necesario para cada área de actividad, en cuanto a cantidad, tipo y forma, así como el ajuste de los mismos en una disposición aceptable.(Thomas, 2010, p.35)

1.2.2 Pérdidas

Se llama pérdidas al uso deficiente de un recurso, equipo, materia prima, trabajo, o capital en cantidades que no son consideradas como necesarias en un proceso. Incluye tanto la incidencia de material perdido y la ejecución de trabajo innecesario, lo que origina costos adicionales y no agrega valor al producto. El originar costos y no generar valor, es la base del concepto de pérdidas.

En la mayoría de instalaciones industriales existen pérdidas que afecta la productividad y capacidad competitiva, la mayoría de ellas permanecen ocultas dentro de las operaciones cotidianas. Pero es necesario conocer su magnitud y comportamiento en el tiempo, ya que de lo contrario sería imposible implementar un sistema de reducción de pérdidas y posteriormente evaluar si las acciones implantadas surten el efecto esperado, el primer paso que se debe dar para eliminar estas pérdidas consiste en clasificar las perdidas y mantener registros de información que muestren la evolución de estas pérdidas. (Ceroaverias, 2014)

Sin embargo para este caso específico donde el proceso analizado es un ciclo de recirculación, las pérdidas que se dan dentro del proceso son necesarias ya que al producirse la vaporización del agua en una caldera o torre de enfriamiento, los sólidos disueltos se concentran, pudiendo llegar a su límite de solubilidad y formar incrustaciones; Para evitar la formación de incrustaciones, es necesario considerar purgas en la operación de las calderas y torres de enfriamiento, para mantener las concentraciones de sales dentro de los parámetros recomendados.

1.2.3 Detección de pérdidas

La detección de pérdidas (DP) en tuberías de agua es un área de investigación activa, y con un creciente interés, debido a la importancia del transporte seguro del vital elemento. Este trabajo considera el problema de DP en tuberías de agua por medio de redundancia analítica, basada en un modelo matemático y utilizando técnicas de estimación de estados, teniendo por objetivo principal estudiar, proponer, implementar y aplicar algoritmos eficientes que permitan abordar de manera general el problema de DP. Para lograr esto se propone y evalúa un banco de filtros, implementados con filtros de Kalman (FK) y filtros de partículas (FP). (Castro & Valdés, 2009)

En los procesos industriales que emplean grandes sistemas de tuberías, de las cuales podemos destacar el transporte de agua. En razón de ello, se han construido complejos sistemas de redes de tuberías, a gran escala, los que han crecido y se han automatizado cada vez más en los últimos años. La operación segura de estos sistemas es primordial debido a que se trata de un elemento vital y valioso. Sin embargo, y a pesar de todas las medidas de precaución que se tomen, siempre existe la posibilidad de pérdidas por diversos factores, tales como rajaduras en la pared de la tubería, defecto en las juntas, corrosión, desgaste, entre otras. (Castro & Valdés, 2009)

En el campo de DP de fluidos (tanto líquidos como gases) en tuberías, se han investigado muchos métodos y técnicas para solucionar el problema. Pasando de métodos simples y económicos hasta algunos más complejos y costosos, podemos mencionar: métodos basados en el modelo dinámico, monitoreo de flujo, monitoreo acústico, monitoreo óptico, métodos de muestreo, entre otros. (Castro & Valdés, 2009)

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE AUTOGENERACIÓN

La planta de autogeneración de cementos Argos está ubicada en el municipio de Sogamoso (Boyacá), en el km 6 en la vía hacia corrales su ubicación específica esta detallada en la figura 1. Esta es una planta de autogeneración a carbón (termoeléctrica), con una potencia máxima de 15 MW, la consta principalmente de caldera, turbina, generador, sistema de recirculación y planta de agua.

Figura 1. Ubicación satelital de planta de cementos ARGOS, planta Sogamoso



Fuente: Google maps.

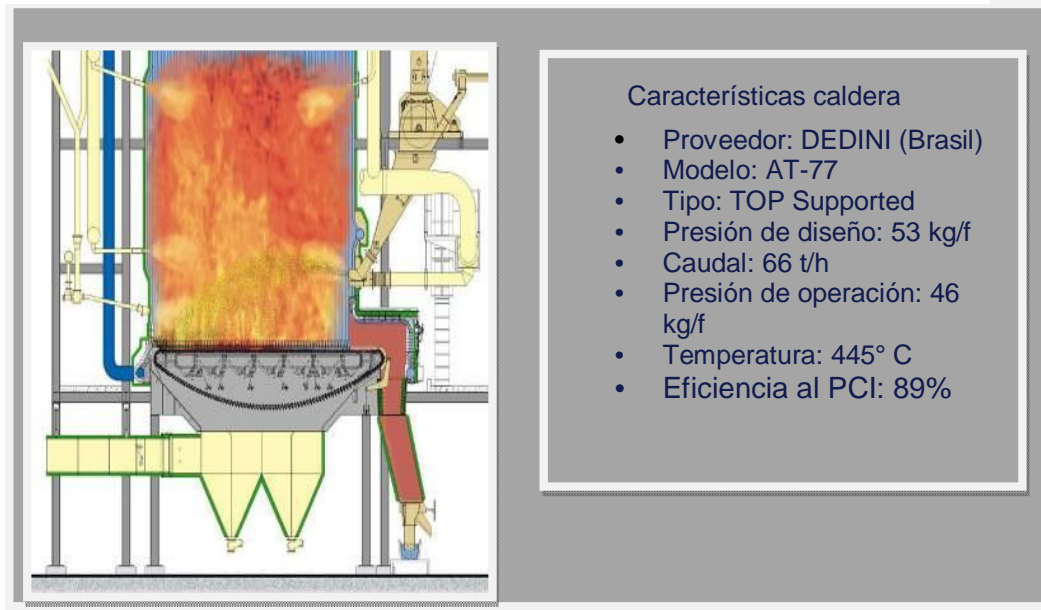
1.3.1 Caldera o generación de vapor

Es una caldera acuotubular de circulación natural y tiro forzado, donde se aplica el ciclo Rankine con las características enunciadas en la figura 2.

El ciclo Rankine es un ciclo que opera con vapor, y es el que se utiliza en las centrales termoeléctricas (y antiguas máquinas de vapor en locomotoras o barcos). Consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor. Éste será llevado a una turbina donde produce energía cinética a costa de perder presión. Su camino continúa al seguir hacia un condensador donde lo que queda de vapor pasa a estado líquido

para poder entrar a una bomba que le subirá la presión para nuevamente poder introducirlo a la caldera. (Departamento de Tecnología, 2014)

Figura 2. Características caldera proceso autogeneración.



Fuente: DEDINI

El ciclo Rankine es utilizado en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso, el cual consta de los siguientes subprocesos.

1.3.2 Turbina

La turbina de esta planta es axial de reacción de condensación de 13 etapas, con extracción regenerativa, mostrada en la figura 3, el vapor recalentado entra a esta axialmente a una temperatura de 445°C y presión de 45 kg/cm² transformando su energía en trabajo mecánico en el eje, a través de una válvula hidráulica de control automático que controla su velocidad la cual debe mantenerse constante en 8250 rpm para mantener la potencia en el generador de 15 MW o de acuerdo a la demanda de la fábrica de cemento. (Siemens, 2008)

El vapor de hacer su trabajo en cada una de las diferentes etapas de la turbina va perdiendo energía al expandirse hasta llegar a su última etapa y salir como vapor de escape con una temperatura de 70°C aproximadamente, a una presión de - 0.43 bar(a). Para seguidamente licuarse al hacer su paso por el condensador. (Siemens, 2008)

Adicionalmente a la turbina esta consta de un condensador de superficie el cual elimina el calor latente del vapor ya utilizado en la turbina. Este es un intercambiador tipo carcasa y tubo que contiene 1220 tubos de 3344 mm de largo c/u, conformando así una superficie de intercambio de 396 m², cuyo propósito principal de es eliminar calor latente del vapor.

Figura 3. Rotor turbina proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

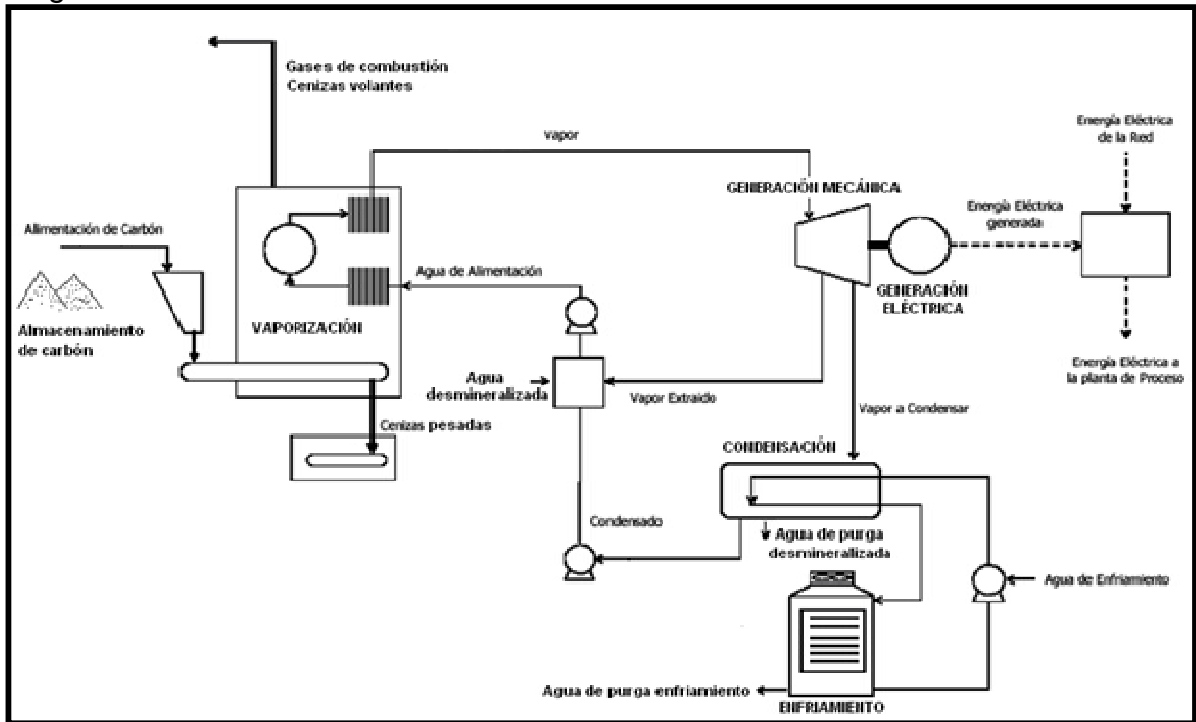


Fuente: Proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

El condensado es depositado en un tanque dispuesto en la parte inferior del condensador con una temperatura de 71 °C al salir del condensador se le llama agua de condensado, está en su recorrido antes de ir a la caldera es llevada por una bomba (bomba de agua de condensado ,esta es tipo centrifuga multi etapa vertical acoplada a un motor de inducción de 40 HP con un caudal de descarga de 69m³/h) al tanque de agua de alimentación, el agua en este tanque es des gasificada y se le hace adición de químicos, además se aumenta su temperatura a unos 110 °C con el vapor proveniente de la extracción de la turbina. De este tanque se lleva a la caldera impulsada por una (bomba centrifuga multi etapa acoplada a un motor de inducción de 300HP con un caudal de descarga de 85 m³/h) en su recorrido hacia la caldera pasa por el economizador (calentador cerrado) donde gana temperatura para llegar a la caldera con aprox. 150°C. (Siemens, 2008)

En la figura 4 se observa los diferente sub procesos del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, allí se describe la generación de vapor o ciclo Rankine y el ciclo de enfriamiento.

Figura 4. Descripción del proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso



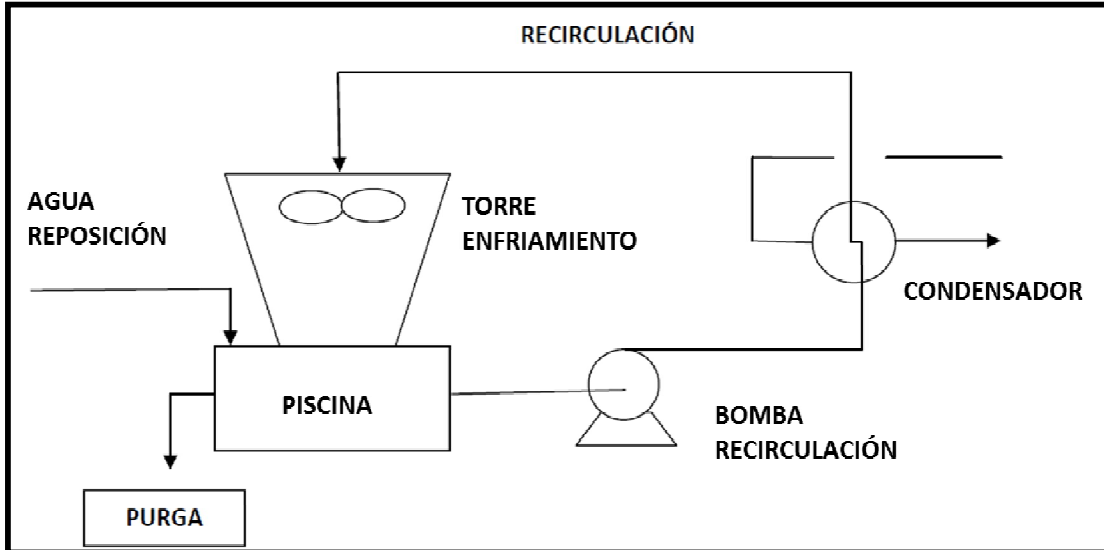
Fuente: Sotelo, D.

1.3.3 Ciclo de enfriamiento

El ciclo de enfriamiento es descrito en la figura 5. En este ciclo el agua de la piscina de agua clarificada de la torre de enfriamiento la cual es llevada por medio de tres bombas (tipo centrifugas de carcasa partida con un caudal de descarga de 3280G/min, acopladas a motores de inducción de 300 HP), al condensador para fluir por la parte interna de la tubería del mismo e intercambiar temperatura con el vapor de escape hasta lograr llevarlo a estado líquido. (EDOSPINA, 2009)

Luego de haber pasado por el condensador esta agua retorna a la torre de enfriamiento (con una ganancia de temperatura por diseño de 10°C) por la parte superior inmediatamente debajo de los 3 ventiladores extractores los cuales se encargan de eliminar la temperatura ganada, esta agua descende por gravedad a la piscina pasando por unas rejillas aspersionas las cuales ayudan al intercambio de calor con el contraflujo del aire de los ventiladores. (EDOSPINA, 2009)

Figura 5. Ciclo de enfriamiento proceso autogeneración cements ARGOS planta Sogamoso



Fuente: Sotelo, D.

1.3.4 Planta de tratamiento de agua industrial.

El agua utilizada en este proceso es tomada del río Chicamocha y llevada hasta la planta de tratamiento la cual se observa en la figura 6 por medio de dos bombas (tipo centrifugas tazones), en la planta de tratamiento es sometida a proceso de clarificación (eliminación de sólidos suspendidos), posteriormente se lleva a un tanque de almacenamiento y de allí alimenta la torre de enfriamiento y el tren de filtros, el cual consta de un filtro de arena, un filtro de carbón activo y un suavizador. Después de estos procesos se alimenta la osmosis inversa y posteriormente el agua es pulida en un lecho mixto donde el agua sale a un tanque de almacenamiento con las características apropiadas (conductividad de $< 1\mu\text{s}/\text{cm}^2$) para alimentar la caldera. (EDOSPINA, 2010)

Figura 6. Planta de tratamiento agua industrial proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso



Fuente: Proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso

1.4 EL AGUA

El agua como principal protagonista de este estudio, se contextualizan y se explican las características involucradas en el proceso.

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mmHg), el punto de congelación del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C. (Hidalgo & Guaman, 2006)

Como compuesto químico, el agua presenta propiedades que se alejan de los compuestos que tienen una conformación molecular similar y sus características la hacen "especial" en su estudio porque:

Es la única sustancia en estado natural que se presenta sobre la tierra, al mismo tiempo, bajo los tres estados: Sólido en los casquetes polares y nevados, líquido, el agua al llegar a 4°C se empieza a dilatar y a disminuir su densidad. A 0 °C ocurre una dilatación abrupta. Su volumen aumenta en una onceava parte al formar hielo. Se favorece así, la vida acuática en las épocas de invierno, ya que la capa de hielo por ser superficial no impide el desarrollo de los procesos biológicos, en los lagos y ríos. (Jenkins, 1999, p.7)

El agua tiene la tensión superficial más alta de todos los líquidos comunes. Por lo tanto tiene una gran capacidad erosiva de igual forma tiene una gran capacidad de cohesión y se adhiere a la mayoría de las sustancias sólidas con que entra en contacto. La combinación de la tensión superficial y la adherencia puede levantar una columna de agua, comportamiento

que se conoce como capilaridad y se relaciona con la circulación del agua en los suelos y a través de las raíces y tallos de las plantas. (Jenkins, 1999, p.8)

“Es la sustancia que más se aproxima al solvente químico universal. Los lagos, ríos y mares son soluciones acuosas y No se encuentra pura en la naturaleza” (Jenkins, 1999, p.8).

1.4.1 Tipos de agua

A continuación se explican los diferentes tipos de agua que se encuentran en el proceso de autogeneración.

1.4.1.1 Agua destilada

“Es el agua purificada, resultante de someter agua de origen natural, a un proceso de evaporación y ulterior condensación (destilación), generalmente mediante un aparato llamado “alambique”; lo que permite separarla de todas las impurezas que contenía el líquido originario” (Hidalgo & Guaman, 2006).

1.4.1.2 Agua de lagos y ríos

“Las aguas de ríos y lagos tienen composiciones variables. Esto es posible ya que tanto unos como otros a menudo contienen agua que ha estado en contacto con varias formaciones geológicas” (Escolastico, Cabildo, Claramunt, & Claramunt. 2013).

Este líquido puede haber fluido a grandes o cortas distancias sobre la tierra, pudo haber disuelto minerales y sustancias de vida vegetal en descomposición a lo largo de su recorrido y, además, pueden contener materiales descargados por los seres humanos e industrias. (Escolastico et al., 2013)

Existen algunos lagos que se sabe que son salados, ya que han acumulado grandes cantidades de sales minerales disueltas. Exceptuando el agua de los lagos salados, las aguas naturales de lagos y ríos no son saladas y se conocen con el nombre de agua dulce. Existen muchas otras sustancias presentes en el agua de lagos y ríos. Puesto que el agua superficial, junto con la de los pozos, sirve para uso y consumo públicos, se han establecido normas químicas a nivel nacional para el agua potable. (Escolastico et al., 2013)

1.4.1.3 Aguas residuales

Conjunto de las aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas; las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos. Los principales causantes son los vertidos de aguas

cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales. (Hidalgo & Guaman, 2006)

Los vertimientos del proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso son llamadas aguas residuales las cuales están saturadas de sales solubles y están son dispuestas en el río Chicamocha.

La consecuencia es el vertido o purgas de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad. Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales. (Hidalgo & Guaman, 2006)

1.4.1.4 Agua clarificada

Es el agua que ha sido sometida a un proceso de clarificación el consiste en la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas y la supresión de la flora microbiana, además de la posible corrección de algunas características físico químicas; a través de las etapas de coagulación, floculación y decantación (Pérez & Urrea, 2014).

1.4.2 Características del agua

El agua natural es una solución de diversos compuestos que se van adhiriendo al agua de acuerdo a los procesos del ciclo hidrológico y que le dan un carácter diferente a las aguas naturales de acuerdo a la composición de los suelos, a su ubicación y a los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso; el agua posee entonces unas características variables que la hacen diferentes de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga, estas características se pueden medir (Jenkins, 1999).

Las características propias de cada fuente de agua permiten su clasificación: agua potable, agua residual industrial, aguas negras, etc.; permiten su uso: para consumo, riego, refrigeración, producción de vapor, como disolvente etc. y permiten su comparación en cuanto a la calidad que presenten para la misma aplicación.

1.4.2.1 Turbiedad

Se aplica a las aguas que tienen materia suspendida y coloidal que interfiere con el paso de la luz a través del agua. Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua, su origen se debe a óxidos de hierro, de zinc, coloides, sólidos suspendidos, en su mayoría provienen de arcillas de los suelos que conforman los lechos de los ríos (Jenkins, 1999).

En la figura 7 se muestran diferentes grados de turbidez en cada uno de los recipientes, entre mayor turbidez más oscura es el agua, de igual forma esta variable está directamente enlazada con los sólidos presentes en el agua.

Figura 7. Grados de turbidez del agua



Fuente: Edospina

1.4.2.3 Sólidos

Como materia sólida se clasifica toda la materia, excepto el agua, contenida en los materiales líquido, por lo tanto es necesario medir la cantidad de materia sólida contenida en una gran cantidad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento (Jenkins, 1999).

1.4.2.4 Conductividad

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos que pueden dar lugar a formaciones de depósitos en las conducciones del agua. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. También se utilizan turbidímetros como el Jackson en el cual se observa una bujía a través de una columna del agua ensayada, cuya longitud se aumenta hasta que la llama desaparece. La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración. (Anónimo, 1998, p.5)

1.4.2.5 PH

“De forma cuantitativa de expresar la naturaleza acida o básica de las disoluciones utilizando los valores logarítmicos negativos de sus concentraciones ion, hidrogeno (H^+); una sustancia con $PH < 7$ Es acida, con $PH > 7$ es básica, y con $PH = 7$ es neutra” (Daub & Seese, 2013).

1.4.2.6 Dureza

La dureza del agua se define como la concentración de carbonatos de calcio y magnesio especialmente, el cual constituye un parámetro muy significativo de la calidad del agua; esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con el agua y representa una serie de problemas de incrustaciones en equipo industrial y doméstico (UDLAP, 2014)

En la figura 8 se muestra el taponamiento de un tubo por el efecto de la dureza en grandes proporciones sobre los tubos, estos depósitos son de difícil remoción y afectan directamente el material del tubo.

Figura 8. Efectos de la dureza



Fuente: Jenkins, D (1999). Química del agua.

1.4.3 Desmineralización

Teniendo en cuenta que uno de los parámetros por lo cual se realiza una purga en un proceso son los valores elevados de conductividad, y dentro del proceso de autogeneración existen sub procesos como la generación de vapor y el sistema de refrigeración los cuales son sistemas de recirculación donde el contenido de sales en el agua aumenta constantemente.

Todas las aguas en la naturaleza contienen una cierta cantidad de sales disueltas; estas sales se encuentran homogéneamente distribuidas en el líquido, no pueden ser detectadas a simple vista y se presentan en formas de iones o partículas cargadas positivamente o negativamente. El exceso de estas sales en solución pueden hacer no adecuada el agua para su consumo directo o para un uso específico, por lo que se requiere de darle un tratamiento para remover

completamente, o disminuir a valores tolerables el contenido de sales en solución. (Rocha, 2010, p.71)

En ocasiones es necesario remover o separar del agua ciertos componentes no deseables, y en otros usos se requiere remover el total de sales disueltas en el agua, este proceso se denomina desmineralización el cual consiste en retirar las sales disueltas en el agua por medio de reacciones químicas o físicas según las características del, agua a tratar sus volúmenes y costo. (Rocha, 2010, p.72)

A continuación se describen los principales métodos de desmineralización:

1.4.4 Intercambio iónico

El intercambio iónico consiste en la conversión de sales presentes en el agua a sus respectivos ácidos por intercambio de cationes de hidrógeno y la eliminación de estos ácidos por medio de intercambiadores aniónicos dando como producto final una agua desmineralizada la cual es el resultado de la neutralización de los cationes de hidrógeno y aniones hidroxilo. (Areal & Tomas, 1974)

Los cationes y aniones encontrados en el agua, son enunciados en la figura 9.

Figura 9. Cationes y aniones.

<i>CATION</i>	<i>ANION</i>
Fierro Fe ⁺³	Cromato CrO ₄ ⁻²
Aluminio Al ⁺³	Sulfato SO ₄ ⁻²
Plomo Pb ⁺²	Sulfito SO ₃ ⁻²
Bario Ba ⁺²	HPO ₄ ⁻²
Estroncio Sr ⁺²	CNS ⁻
Cadmio Cd ⁺²	CON ⁻
Níquel Ni ⁺²	Nitrato NO ₃ ⁻
Zinc Zn ⁺²	Nitrito NO ₂ ⁻
Cobre Cu ⁺²	Yoduro I ⁻
Fierro Fe ⁺²	Bromuro Br ⁻
Manganeso Mn ⁺²	Cloruro Cl ⁻
Calcio Ca ⁺²	Cianuro CN ⁻
Magnesio Mg ⁺²	Bicarbonato HCO ₃ ⁻
Potasio K ⁺	HSiO ₃ ⁻
Amonio NH ⁺	Hidróxido OH ⁻
Sodio Na ⁺	Fluoruro F ⁻
Hidrógeno H ⁺	
Litio Li ⁺	

Fuente: Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento del agua

Se conoce como intercambio iónico al cambio de iones entre un sólido (material de intercambio iónico o resina) y un líquido en el que no hay un cambio permanente en la estructura del sólido. El intercambio iónico se usa en el tratamiento de aguas y también sirve como método de separación para muchos procesos en los que intervienen otros líquidos. Su principal campo de aplicación es el ablandamiento del agua empleada en los hogares, y la producción de agua blanda y desmineralizada en la industria: como por ejemplo en las centrales térmicas, refinerías, en la industria química, así como también en aplicaciones especiales como la síntesis química, investigación médica, procesos de la industria alimentaria, minería, agricultura y en una gran variedad de otras aplicaciones. La utilidad del intercambio iónico reside en la capacidad de usar y reutilizar el material de intercambio iónico mediante su regeneración. (Palau & Sanchez, 2006)

“Las resinas de intercambio iónico son esferas porosas menores de 1mm hechas de polímeros insolubles altamente entrecruzados con un gran número de sitios de intercambio fuertemente iónico” (ACF, 2009).

Las resinas de intercambio iónico se pueden clasificar en cuatro grandes grupos resinas intercambiadoras de cationes, resinas intercambiadoras de aniones, resinas selectivas y polímeros de adsorción; a su vez las resinas intercambiadoras de cationes se clasifican en dos clases las fuertemente disociadas o comúnmente denominadas Cation Fuerte (CF) y las débilmente disociadas o comúnmente denominadas Cation Débil (CD); de igual forma las resinas intercambiadoras de aniones pueden ser fuertemente disociadas, tipo I, II y III o son llamadas comúnmente anión fuerte (AF I, AF II, AF III) o débilmente disociadas estas son llamadas comúnmente anión débil (AD) (Areal & Tomas, 1974).

1.4.4.1 Las resinas selectivas

Es factible la retención selectiva de determinados iones, mediante el uso de resinas intercambiadoras de iones dotadas de grupos activos con afinidades más específicas. Dentro de este grupo de intercambiadores iónicos, por ejemplo tienen especial relevancia las denominadas «resinas quelantes» en la retención de metales pesados. (Areal & Tomas, 1974)

En el tratamiento de agua potable, los procesos en los que normalmente se pueden utilizar este tipo de resinas son: Retención de níquel, plomo, boro, cobre, mercurio, hierro/manganeso, arsénico, nitrato, fluoruro y otros; Los elementos radioactivos como el uranio y el radio, también son susceptibles de ser eliminados selectivamente utilizando resinas AF I y CF. (Areal & Tomas, 1974)

Los procesos de regeneración en los casos citados anteriormente son específicos y determinados por los fabricantes de resinas de intercambio y las ingenierías instaladas.

1.4.4.2 Polímeros de adsorción

Los polímeros de adsorción, o resinas adsorbentes, son polímeros débilmente funcionalizados, o no funcionalizados, es decir sin grupos activos, con diversas porosidades y una gran superficie activa, por lo que son capaces de retener determinadas moléculas orgánicas como por ejemplo, MTBE, hidrocarburos clorados, THM, etc. (Ministerio de sanidad y política social, 2009)

1.4.4.3 Resinas funcionalizadas

Resinas generalmente como las definidas en el apartado de intercambiadores de aniones, las cuales permiten la retención de determinadas sustancias orgánicas de origen natural, como ácidos húmicos, fúlvicos, polisacáridos, etc; la regeneración de este grupo de resinas se consigue mediante la utilización de sosa cáustica (NaOH) o soluciones alcalinas de cloruro sódico (NaCl + NaOH). . (Ministerio de sanidad y política social, 2009)

1.4.4.4 Resinas no funcionalizadas

El desarrollo en los últimos años de polímeros basados en el poli estireno reticulado con diferentes porosidades y diferente grado de superficie activa, no dotados o débilmente dotados de grupos activos, que han permitido la adsorción de determinadas moléculas orgánicas contaminantes o indeseables en el agua, como por ejemplo plaguicidas, MTBE, THM, etc; en este caso la regeneración óptima se consigue con la utilización de alcohol etílico, vapor de agua, siendo no obstante factible también la regeneración con soda cáustica. . (Ministerio de sanidad y política social, 2009)

1.4.5 Proceso de intercambio iónico tipo sodio

El ablandamiento con zeolita es el proceso de intercambio iónico más antiguo y más simple. Elimina la dureza del agua, incluyendo el hierro y el manganeso si estos constituyentes pueden mantenerse en forma iónica reducida. Cuando el lecho intercambiador de iones está saturado con los constituyentes de dureza, el intercambiador se regenera con una salmuera de cloruro de sodio; durante la etapa de procesamiento la corrida de ablandamiento puede variar la dureza del agua y también puede cambiar la velocidad del flujo a través del sistema, aunque el lecho continúa operando de manera efectiva en la producción de agua blanda. (Hidalgo & Guaman, 2006)

El término proceso a la zeolita se afianzó definitivamente tanto en la práctica como en la literatura técnica. Otros términos que también se hicieron de uso común en conexión con estos procesos, fueron el intercambio básico, usado en describir las reacciones y agua cero dureza para describir el efluente producido por estos procesos. (Hidalgo & Guaman, 2006)

Todas las zeolitas sódicas y otros materiales silicosos que tienen estas propiedades de intercambio de sodio, son obviamente intercambiadores catiónicos sódicos, pero no todos los intercambiadores catiónicos sódicos son zeolitas, ni tienen necesariamente naturaleza silicosa.

De hecho, los intercambiadores catiónicos modernos más usados no son zeolitas ni son de carácter mineral, sino que son compuestos orgánicos sulfonados que se pueden usar tanto en el ciclo sódico como en el de hidrógeno. El nombre de zeolitas deriva de dos palabras griegas zein + lithos que significa “piedra hirviente”. (Hidalgo & Guaman, 2006)

“Cuando el agua dura se pasa a través de un lecho de un intercambiador catiónico, el magnesio, calcio se fijan en el intercambiador catiónico, el que transfiere a la solución una cantidad equivalente de sodio” (Rigola, 1990, p.75).

Durante el ciclo de servicio el agua entra al suavizador por la parte superior a través de un distribuidor, pasa por el lecho de resina y sale por la parte inferior como agua suavizada; el flujo al suavizador debe ser lo más constante posible e igualmente deben ser evitadas operaciones de arranque y paradas bruscas (Rigola, 1990).

Concluido el ciclo de suavización, por agotamiento de la resina, la unidad debe ser sacada de servicio y proceder a la regeneración; en la figura 10 se observa el flujo del agua a través del suavizador y el intercambio de los principales cationes.

Figura 10. Sistema de suavización.



Fuente: acf sistemas de desmineralización integral s.a. de c.v.

1.4.5.1 Ciclo de regeneración.

La resina agotada es tratada con una solución de cloruro de sodio (Salmuera) con una concentración de aproximadamente 10 % para que el sodio pueda remover el calcio y magnesio de la resina agotada. Después de que la resina se encuentra saturada (con el calcio y el magnesio que ha removido del agua ya tratada), es necesario regenerar esta. (Rigola, 1990).

Para realizar el proceso de regeneración se deben aplicar los siguientes pasos:

1.4.5.2 Retro lavado

En el retro lavado se hace circular el agua de alimentación al filtro, de abajo hacia arriba, al contrario de como circula normalmente cuando el filtro está en operación. Esta agua de retrolavado sale por la parte superior del filtro y es desechada. El retrolavado tiene la finalidad de redistribuir el lecho o cama de resina y evitar que esta se compacte, formando canalizaciones en el agua que fluye, y disminuyendo con esto la eficiencia y capacidad del filtro. (Rocha, 2010, p.77)

1.4.5.3 Salado

Después del retrolavado se hace circular una solución de sal a través del lecho de resina. Para esto se prepara una solución de sal en agua y se hace circular en el filtro, fluyendo esta solución de arriba hacia abajo. La cantidad de sal empleada es de aproximadamente 5 Kg de sal de grano por cada pie cúbico de resina en el filtro (aprox. 180 grs por litro de resina). Esta sal se disuelve en la cantidad de agua que sea suficiente para su disolución completa y se vierte en el filtro, o se agrega directamente a éste y se disuelve la sal agregando agua al recipiente. (Rocha, 2010, p.77)

La solución de sal o la sal entera, se puede hacer pasar por el filtro abriendo este por la parte superior vertiendo la sal o solución salina, o también a través de una válvula de paso. En caso de que el volumen de salmuera sea considerable, es conveniente inyectar esta salmuera por medio de una bomba. . (Rocha, 2010, p.77)

En cualquiera de los dos casos la solución tiene contacto con la resina y ésta es regenerada. Con esto la resina regresa a su condición original y es capaz de remover nuevamente la dureza de un cierto volumen de agua que pase por el filtro. Durante el salado el agua que fluye y sale por la parte inferior del filtro es desechada hacia el drenaje. . (Rocha, 2010, p.77)

1.4.5.4 Lavado

El lavado tiene como finalidad eliminar toda la solución de salado, que tiene una alta concentración de dureza (calcio y magnesio), para esto se hace fluir agua de alimentación (el agua que entra al filtro para tratamiento) de arriba hacia abajo, es decir, en la forma normal de operación del filtro, y el agua de lavado es desechada hacia el drenaje. Al

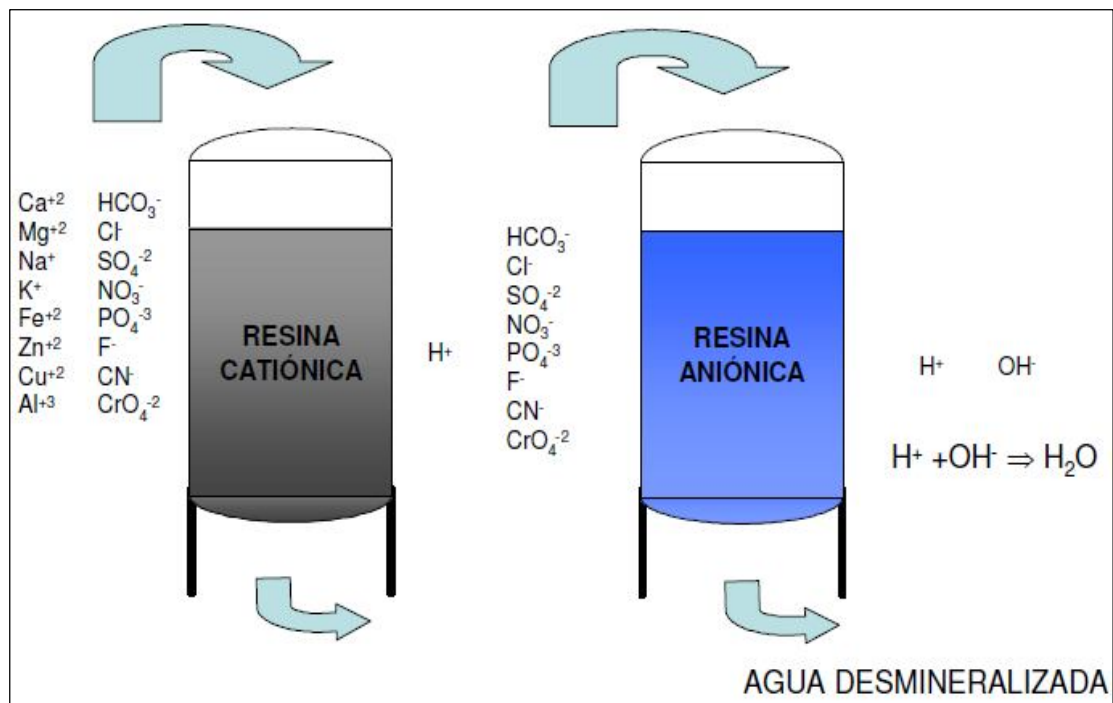
término de la operación la resina y el filtro están listos para su operación normal. (Rocha, 2010, p.78)

1.4.6 Intercambiadores catiónicos ciclo hidrogeno

El desarrollo de materiales para intercambio iónico que podrían regenerarse con ácido para intercambiar iones hidrógeno por cationes en el agua proporciona el primer proceso químico práctico para la eliminación de sodio, potasio y amoniaco, cuyas sales son solubles en grado extremo. Ya sean dado las reacciones generalizadas para el intercambio del ciclo de hidrógeno. El efluente es ácido, contiene CO₂ equivalente a la alcalinidad entrante, y sustancialmente todos los cationes en el influente han sido intercambiados por hidrógeno, salvo los que se han fugado. La fuerte acidez del agua tratada debe ser corregida con el propósito de suministrar un agua satisfactoria para casi cualquier uso convencional. (Hidalgo & Guaman, 2006)

En la figura 11 se describe el flujo a través de los intercambiadores iónico en ciclo hidrogeno y los principales iones que los que reaccionan.

Figura 11. Intercambio iónico ciclo hidrogeno



Fuente: Acf sistemas de desmineralización integral s.a. de c.v.

Una vez que se alcanza el límite de saturación en las resinas, es necesaria su regeneración. La regeneración de las resinas, tanto la catiónica como la aniónica, se efectúa de la misma manera que en el ciclo sódico, solo que se emplean diferentes sustancias químicas para su regeneración. En la regeneración de la resina catiónica o en ciclo ácido, se emplea cualesquier ácido fuerte tal como: nítrico, fosfórico, clorhídrico, sulfúrico, etc. En la práctica los ácidos más empleados son el clorhídrico y el sulfúrico por su bajo costo y disponibilidad. (Areal & Tomas, 1974)

En la resina aniónica o en ciclo básico, se emplean como regeneradores carbonato de sodio o hidróxido de sodio. Es frecuente que se produzca agua desmineralizada o desionizada para usos industriales como: sistemas de enfriamiento, en calderas de alta presión, etc. pero no es común que estos sistemas se empleen en tratamiento de aguas potables (Rocha, 2010).

1.4.7 Principios de la Osmosis inversa

Otro de los métodos para el proceso de desmineralización es la osmosis inversa.

Osmosis inversa es un proceso de desmineralización que depende de una membrana semipermeable para efecto de la separación de sólidos disueltos de un líquido. La membrana semipermeable permite el paso de líquido y de iones, pero retiene la mayoría de los sólidos disueltos. Aunque muchos líquidos (solventes) pueden ser usados, en una aplicación de osmosis inversa (Kucera, 2010).

Para entender cómo trabaja la osmosis inversa, primero necesitamos entender la naturaleza del proceso de osmosis.

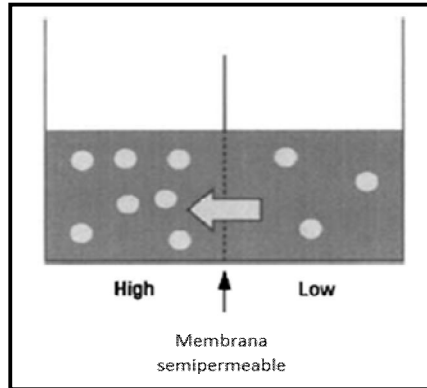
1.4.7.1 Osmosis

La osmosis es un proceso natural donde el agua fluye a través de una membrana semipermeable desde una solución con baja concentración de sólidos disueltos a una solución de alta concentración de sólidos disueltos. En la gráfica 12 se encuentran dos compartimientos divididos por una membrana semipermeable. Esta membrana permite que el agua y algunos iones pasen a través de ella, pero es impermeable ante los sólidos disueltos. El compartimiento 1 de la celda tiene una solución con una alta concentración de sólidos disueltos mientras que el otro compartimiento tiene una solución con baja concentración de sólidos disueltos. La osmosis es un proceso natural donde el agua fluye desde el compartimiento con baja concentración de sólidos disueltos al compartimiento con la solución de mayor concentración de sólidos disueltos. El agua continuara fluyendo a través de la membrana hasta que la concentración se iguale en ambos lados de la membrana (Kucera, 2010).

El equilibrio, se presenta cuando la concentración de sólidos disueltos es el mismo en ambos compartimientos. En este punto ya no hay flujo de un compartimiento a otro. Sin

embargo, el compartimiento que una vez contenía la solución de concentración más alta ahora tiene un nivel de agua más alto que el otro compartimiento (Kucera, 2010).

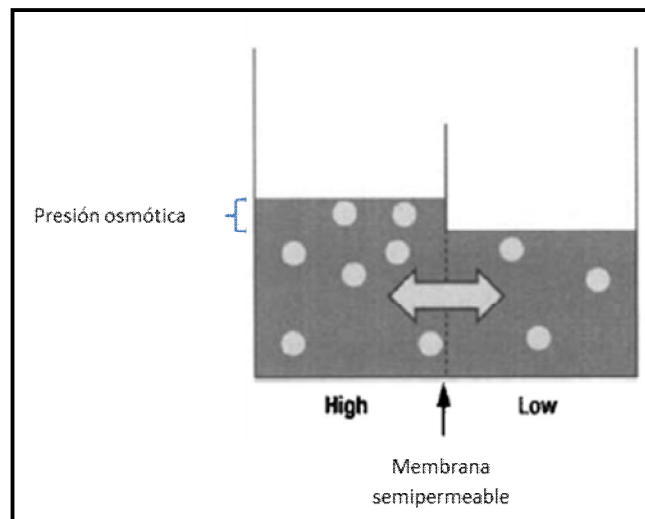
Figura 12. Osmosis



Fuente: NALCO (2010).

En la figura 13 se muestra como La celda dividida en dos compartimientos, separadas por una membrana semipermeable. El agua fluye por osmosis desde la solución de baja concentración al otro compartimento a través de la membrana semipermeable donde se encuentra la solución de alta concentración

Figura 13. Presión osmótica



Fuente: NALCO (2010).

Equilibrio de las concentraciones. La diferencia en la altura corresponde a la presión osmótica de la solución.

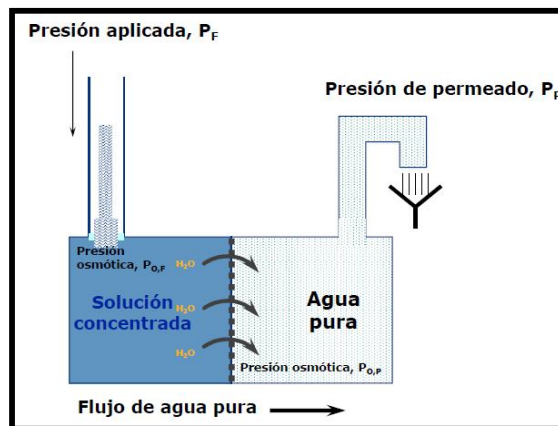
“La presión osmótica está en función de la concentración de sólidos disueltos. Esta se comporta e en un rango de 0.6 a 1.1 psi por cada 100 ppm de sólidos totales disueltos” (Kucera, 2010, p.16).

Después de realizar la explicación de la osmosis, ahora se puede comprender el proceso de osmosis inversa aplicado en el tratamiento de agua.

La osmosis inversa es un proceso donde al aplicar presión, mayor que la presión osmótica, esta ejerce en el compartimiento que contiene la solución de mayor concentración. Esta presión fuerza al agua a pasar a través de la membrana en dirección contraria a la de la osmosis. El agua ahora se mueve desde el compartimiento de la solución de alta concentración la solución con baja concentración. De esta manera, el agua pasa relativamente pura a través de la membrana dentro de uno de los compartimientos, mientras los sólidos disueltos son retenidos en el otro compartimiento. Por lo tanto, el agua en uno de los compartimientos esta purificada o “desmineralizada”, y los sólidos en el otro compartimiento son concentrados o desechados (Martinez, 2009).

Debido al aumento del esfuerzo en la membrana, al aplicar la presión requerida para lograr la osmosis inversa, lo cual significa una alta presión osmótica, para así obtener un agua libre de sales disueltas como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Flujo de agua pura

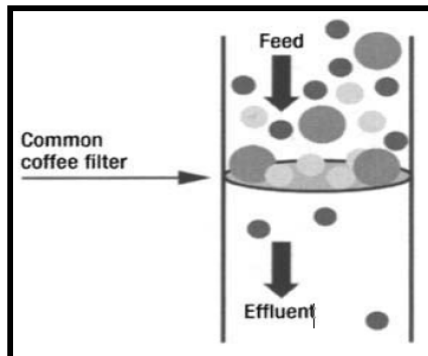


Fuente: Reverse Osmosis Design, Processes, and Applications for Engineers

1.4.7.2 Filtración directa

“Este proceso permite toda el agua de alimentación a través de las membrana, dejando los sólidos entre la membrana” (NALCO, 2000).

Figura 15. Filtración directa



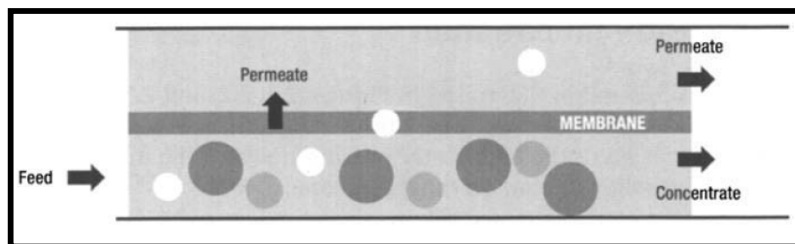
Fuente: Reverse Osmosis Design, Processes, and Applications for Engineers.

La filtración es un proceso por el cual se produce un afluente y la saturación o incrustación de la membrana o medio filtrante, como se explica en la figura 15.

1.4.7.3 Filtración cruzada

En la filtración cruzada como se ve en la figura 16, el agua de alimentación pasa tangencial sobre la superficie de la membrana, en lugar de que sea perpendicular a ella. El agua y algunos sólidos pasan a través de la membrana mientras la mayoría de los sólidos disueltos y algo de agua no pasan a través de la membrana. Por lo tanto, la filtración cruzada tiene una corriente afluente pero produce dos corrientes efluentes, la filtración cruzada, es un proceso continuo que produce dos corrientes efluentes originadas de un corriente afluente. (NALCO, 2009)

Figura 16. Filtración cruzada.



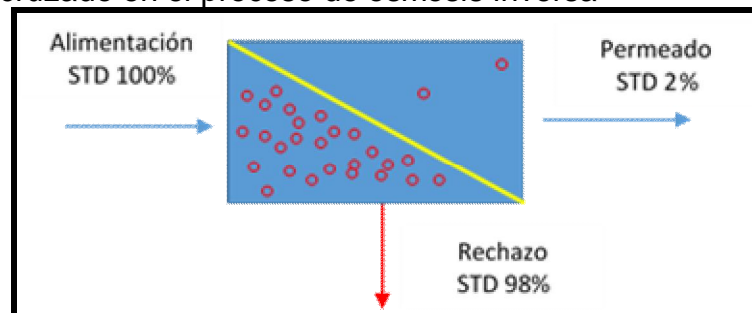
Fuente: Reverse Osmosis Design, Processes, and Applications for Engineers.

El flujo cruzado ayuda a minimizar el ensuciamiento o incrustación de las membranas de osmosis inversa, En un esfuerzo para mantener la superficie de la membrana libre de sólidos

que se puedan acumular o incrustar la membrana, el flujo cruzado tangencial sobre la superficie de las membranas ayuda a mantener la superficie limpia. Periódicamente, las membranas deben ser sacadas de línea para realizar una limpieza del material libre que se acumula en la superficie. (NALCO 2009)

En la siguiente figura 17 se describe de manera sencilla como trabaja actualmente el flujo cruzado en el proceso de osmosis inversa. La línea diagonal dentro del rectángulo representa las membranas. Este diagrama muestra como la corriente entra, aplicando un valor alto de presión como la presión osmótica de la solución, este flujo es separado en dos corrientes efluentes. La solución que pasa a través de la membrana es llamado permeado o producto y la solución retenida por la membrana es llamada rechazo. (Kucera, 2010)

Figura 17. Flujo cruzado en el proceso de osmosis inversa



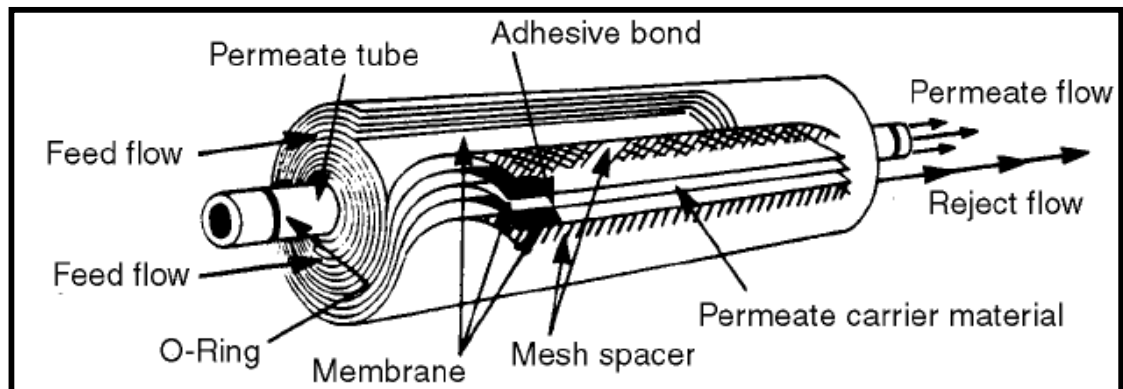
Fuente: Sotelo, D.

1.4.7.4 ¿Cómo difiere la osmosis inversa de la filtración?

La filtración convencional de sólidos suspendidos se logra al pasar una solución de alimentación a través de un medio de filtración en una dirección perpendicular como se había explicado anteriormente. Toda la solución pasa por el medio de filtración, creando un solo flujo de salida. Este tipo de filtración generalmente es referido como una filtración de final muerto. Ejemplos de este tipo de filtración incluyen filtros de cartucho, filtros de bolsa, filtros de arena y filtros multimedia. Estos métodos de filtración generalmente son limitados a partículas suspendidas mayores a 1 micrón. (NALCO, 2009)

En la figura 18 se evidencia las partes principales de una membrana semi permeable utilizada en el proceso de osmosis inversa.

Figura 18. Membrana tubular



Fuente: Reverse Osmosis PermaCare. NALCO

Para la remoción de pequeñas partículas, coloides y sales disueltas, se emplea un método diferente de remoción de partículas, usando una membrana donde las partículas son capturadas en la superficie, más que en un medio de filtración, donde las partículas son capturadas tanto en la superficie como en la misma malla del medio de filtración. Además, en este proceso de filtración el flujo de alimentación es presurizado y fluye paralelo a la superficie de la membrana, y una porción de este flujo pasa a través de la membrana, lo que forma el permeado, dejando las partículas eliminadas atrás en el rechazo. Debido a que hay un flujo continuo a través de la superficie de la membrana, las partículas rechazadas no se acumulan, pero en cambio son barridas por el flujo de concentrado. La filtración con membrana de flujo cruzado se caracteriza por el tamaño de las partículas removidas. (NALCO, 2009)

La micro filtración (MF) generalmente remueve partículas superiores a 0.1 micrómetros de diámetro; la Ultra filtración (UF) remueve partículas y sólidos disueltos mayores, con un peso molecular que excede los 1000; la Nano filtración. (NF) remueve sólidos disueltos y muchas sales multivalentes que exceden los 200 de peso molecular. La Osmosis Inversa (OI) remueve la mayor parte del material disuelto, incluyendo sales disueltas de hasta un peso molecular de 10 ó 20. (NALCO, 2000).

Algunas experiencias de implementación:

La efectividad de la tecnología de micro filtración es subrayada por el hecho que las unidades de osmosis inversa pueden recuperar un muy alto porcentaje del agua tratada para completar la reutilización. Además, las membranas de osmosis inversa no necesitan ser limpiadas con mayor frecuencia que cada seis meses. (Cartwright, 2013, p. 1)

1.5 TORRES DE ENFRIAMIENTO

Para determinar las pérdidas del proceso se debe conocer el equipo donde se concentran la mayor cantidad de agua y entender su funcionamiento, en la figura 19 se observa la torre de enfriamiento del proceso de autogeneración de cementos ARGOS, planta Sogamoso.

Figura 19. Torre de enfriamiento proceso autogeneración, cementos ARGOS planta Sogamoso.



Fuente: Sotelo, D

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua y otros medios a temperaturas próximas a las ambientales; en grandes volúmenes (extraen calor del agua mediante evaporación o conducción), Las torres de enfriamiento usan la evaporación del agua para rechazar el calor de un proceso tal como la generación de energía eléctrica. (Mendoza, Quispe & Vilcapoma, 2007)

1.5.1 Fundamento teórico del enfriamiento

En las torres el agua se encuentra en contacto directo con el aire que la enfría y el proceso de transferencia de calor se realiza en parte por intercambio de calor sensible entre la fase líquida y la gaseosa, pero en mayor medida por la formación de vapor de agua en la interface líquido/gas y su posterior difusión en el aire que la circunda (Perry, 1968).

El proceso de transferencia de masa entre el líquido y el aire, está íntimamente conectado con el de transferencia de calor. En efecto, con el cambio de fase desde líquido a vapor se absorbe calor lo cual da lugar a gradientes de temperatura en el aire adyacente a la

superficie líquida. En muchos casos prácticos, las condiciones en que se desarrollan ambos procesos son tales que puede suponerse que la difusividad térmica y el coeficiente de difusión másico son iguales (Perry, 1968).

1.5.2 Teoría de merkel

La investigación temprana en los dispositivos de enfriamiento se ha visto enfrentada a lidiar con las restricciones y consideraciones surgidas a partir de la transferencia simultánea de materia y energía dentro de los dispositivos de enfriamiento. Merkel desarrolló una teoría para torres de enfriamiento referente a la transferencia de masa (evaporación de una pequeña porción de agua) y la transferencia de calor sensible entre el aire y el agua en un equipo de enfriamiento en contracorriente. La teoría considera el flujo de masa y energía del volumen de agua en la interface y desde la interface hacia los alrededores de la masa de aire. El flujo cruza estos dos límites, cada uno representado por una resistencia debida a los gradientes de temperatura, entalpía y relación de humedad. (Restrepo, 2011, p. 19)

“Merkel demostró que la transferencia total de calor es directamente proporcional a la diferencia entre la entalpía del aire saturado a la temperatura del líquido (agua), y la entalpía de aire en el punto de contacto con el agua” (Restrepo, 2011, p. 19).

1.5.3 Funcionamiento de las torres de enfriamiento

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de enfriamiento mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado “relleno”. El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico. (Mendoza, Quispe & Vilcapoma, 2007).

El relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio entre el agua y el aire; una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar una cesión de calor del agua hacia el aire. Ésta se produce debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección y la transferencia de vapor desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación. (Mendoza, et al., 2007)

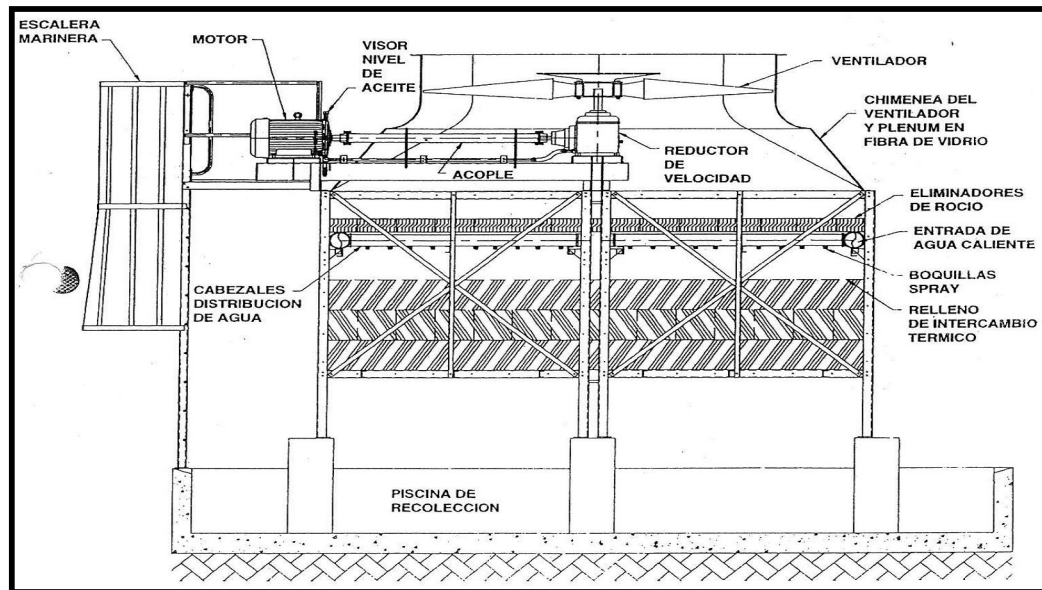
En la transmisión de calor por convección, se produce un flujo de calor en dirección al aire que rodea el agua a causa de la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos.

La tasa de enfriamiento por evaporación es de gran magnitud en las torres de enfriamiento; alrededor del 90 % es debida al fenómeno difusivo. Al entrar en contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno. Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una cesión de vapor de agua (evaporación). Esta masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido. Este calor latente es cedido al aire, obteniéndose un enfriamiento del agua y un aumento de la temperatura del aire. La diferencia de temperaturas del agua a la salida y la

temperatura húmeda del aire se llama «acercamiento» o “aproximación”, ya que representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua para crear flujo hacia arriba, algunas torres de enfriamiento contienen aspas en la parte superior, las cuales son similares a las de un ventilador. Estas aspas generan un flujo de aire ascendente hacia la parte interior de la torre de enfriamiento. El agua cae en un recipiente y se retraerá desde ahí para al proceso de producción. (Mendoza, et al., 2007)

Para efectos de estudio nos enfocamos en las torres de enfriamiento de tiro mecánico inducido en contraflujo donde sus principales partes se describen en la figura 20, ya que este es el tipo de torre que se encuentra en el proceso de autogeneración de Cementos Argos.

Figura 20. Torres de enfriamiento de tiro mecánico inducido contraflujo



Fuente: Manual de operación y mantenimiento torres de enfriamiento TMS – 3c -28ft

En estas torres el aire es succionado a través de la torre por medio de un ventilador dispuesto en la parte superior, lográndose una distribución uniforme del aire a través del empaque, estas son usadas ampliamente debido a que son altamente eficientes. (EDOSPINA, 2009)

Debido a las necesidades termodinámicas del ciclo Rankine, en especial es el proceso de condensación del vapor utilizado en la turbina, el cual se realiza por medio de un condensador de superficie y la recirculación de agua a través de una torre de enfriamiento. En este proceso se utilizan alrededor de 460 l/s en recirculación con un flujo de reposición de 16 l/s para mantener el nivel de la piscina.

“La rata de evaporación teórica de la torre de enfriamiento es de aproximadamente 0.126 l/s o 2 gpm por cada millón de BTU/h de calor evacuado por la torre” (EDOSPINA, 2009).

Por lo tanto:

Calor evacuado= (Flujo de recirculación) (densidad agua) (ΔT °F)
(7200 GPM)(8.33 Lb. /gal)(60 min/h)(44 °F)
158336640 BTU/h

Evaporación= (2 gpm) (158.3 Millones de BTU/h)
316 gpm o 19.9 l/s

La cantidad de agua evaporada en el proceso de enfriamiento es de aproximadamente 19.9 l/s.

1.5.4 Principales partes de las torres de enfriamiento

1.5.4.1 Celda

Es la sub división menor de una torre de enfriamiento equipada con su sistema de distribución de agua, relleno, eliminadores de rocío y ventilador propios, que pueden operar como una unidad independiente en una torre de celdas múltiples, separadas normalmente por divisiones que impiden el flujo de aire entre ellas y operación común, con una sola piscina de recolección y/o por divisiones completas al aire y al agua cuando se requiere un aislamiento total entre las celdas (para el drenaje de celdas inoperantes). (EDOSPINA, 2009)

1.5.4.2 Piscina de recolección

Es la piscina localizada en la parte inferior de la torre de enfriamiento diseñada con la capacidad suficiente para recolectar el agua enfriada. Esta piscina debe tener conexiones para llenado y reposición de agua al sistema, desagüe, rebosadero, y salida (s) lateral (es) y mallas o canastillas de protección para la succión de las bombas de recirculación. (EDOSPINA, 2009)

1.5.4.3 Eliminadores de rocío

Módulos en láminas de PVC rígido estampadas al vacío, con un perfil especial (laberinto), localizados en el lado de descarga de aire del relleno, debajo del ventilador, utilizados para retener las gotas de agua arrastradas por la corriente saliente de aire. (EDOSPINA, 2009)

1.5.4.4 Ventilador

“Equipo utilizado para inducir el flujo de aire a través de la torre de enfriamiento” (EDOSPINA, 2009).

1.5.4.5 Chimenea del ventilador

Sección cilíndrica que encierra y permite la entrada suave de aire al ventilador. En torres grandes, con ventiladores accionados por motores normalmente mayores a 100HP, la zona de descarga de aire de la chimenea se diseña y fabrica con un cono en expansión (Venturi) para aumentar la eficiencia del ventilador. (EDOSPINA, 2009)

1.5.4.6 Relleno

Es material (normalmente plástico) que suministra la superficie efectiva de contacto para el intercambio energético entre el agua y el aire.

Existen dos tipos de relleno. Los rellenos de tipo fílmico de alta capacidad conformados por una serie de láminas de PVC rígido estampadas al vacío, paralelas espaciadas del orden de 12 a 19 milímetros y ensambladas en módulos, por las cuales baja pegada en películas muy delgadas, el agua que se está enfriando con aire que asciende a través de los tubos triangulares formados por las mismas. (EDOSPINA, 2009)

Para aguas con alta contaminación existen los rellenos de tipo “splash” o salpique de menor eficiencia, constituidos normalmente por pisos de parrillas plásticas con aberturas del orden de 2”, por las cuales baja el agua que se está enfriando con aire en contra-corriente, en forma de gotas que se rompen en un salpique muy fino al chocar de parrilla en parrilla. (EDOSPINA, 2009)

1.5.4.7 Sistema de distribución de agua

Son los cabezales internos transversales de entrada de agua con sus respectivos laterales de distribución (en acero galvanizado o PVC) y las boquillas de atomización plásticos instalados sobre estos, que distribuyen uniformemente el agua caliente sobre el relleno sin dejar espacios muertos. (EDOSPINA, 2009)

1.5.5 Problemas de agua de enfriamiento

En todas las industrias, el agua es un fluido vital que debe reunir ciertas condiciones mínimas como: estar libre de olor, turbidez, radioactividad, etc. En el caso de agua de enfriamiento estas condiciones son más severas para proteger el equipo que requiere de este enfriamiento, ya que el agua de baja calidad produce incrustaciones, óxidos, y otros en los intercambiadores de calor. (Carias, 2010, p.39)

Al momento de medir la calidad del agua esta se mide en términos de sólidos de cualquier carácter que estén disueltos, por lo general, estos sólidos se expresan en partes por millón, Por lo tanto, la calidad del agua de enfriamiento que circula a través del sistema de enfriamiento tiene un efecto significativo en la eficiencia global del sistema, tanto en el nivel de mantenimiento requerido como en la vida útil de todos los componentes del equipo. (Carias, 2010)

1.5.5.1 Efectos y tipos de impurezas

Los efectos y tipos de impurezas en el agua de alimentación, van desde lo que son taponamientos, incrustaciones, oxidación, corrosión. En lo que a tipos de impurezas se refiere están, sólidos en suspensión, microorganismos, ensuciamiento, etc.

1.5.5.2 Incrustaciones

Las incrustaciones, generalmente, se ven en los intercambiadores de calor, la más común es el bicarbonato de calcio del agua, a temperaturas altas en la figura 21 se muestra una incrustación de carbonato de calcio por la parte externa del tubo.

Para reducir a lo mínimo la formación de incrustación en un sistema de agua de enfriamiento se precisa enfoque coordinado que combine el uso de inhibidor eficaz de incrustaciones con medidas para mantener bajo el potencial incrustante del agua. Esto último incluye el ajuste de la velocidad de evacuación, o de la de purgado, para mantener los ciclos de concentración en un nivel razonable y para conservar la concentración de los sólidos dentro de los límites controlables. El tratamiento regular del agua circulante con un inhibidor o con una combinación de inhibidor de incrustaciones y corrosión, posibilita operar a regímenes de evacuación más bajos y a valores más altos de pH, sin toparse con problemas. (Anónimo, 1998, p. 143)

“Para medir la tendencia a que se precipita el carbonato de calcio del agua en condiciones dadas de contenido de calcio, alcalinidad, pH, temperaturas y sólidos disueltos totales, se utiliza lo que se conoce como el índice de Langelier” (Carias, 2010, p.70).

“Langelier es un índice que refleja el equilibrio del PH del agua con respecto al calcio y la alcalinidad; y es usado en la estabilización del agua para controlar tanto la corrosión como la escala de incrustación” (lenntech, 2014).

Figura 21. Incrustación parte externa de una tubería



Fuente: Fuente: Jenkins, D (1999). Química del agua.

1.5.5.3 Corrosión

Se conoce así a un ataque destructivo de los metales que puede ser, ya sea de naturaleza química o electroquímica en la figura 22 se muestra este fenómeno en el interior de un tubo; la corrosión química directa sólo se ejecuta en condiciones extraordinarias que comprenden un ambiente altamente corrosivo o una elevada temperatura o ambas cosas. La mayoría de fenómenos que comprende la corrosión de metales que contienen agua o están sumergidos en ella o su corrosión en la atmosfera por película de humedad, son de naturaleza electroquímica. Otros de los causantes de la corrosión es el oxígeno gaseoso disuelto en el agua que reacciona con el hidrógeno atómico protector que se encuentra sobre las zonas catódicas de las superficies metálicas; destruye la película de despolarización y permite que continúe la corrosión. La velocidad de difusión del oxígeno disuelto hacia la superficie metálica y como consecuencia, se produce un amplio ataque del oxígeno al nivel del agua o cerca de él. En la mayoría de los problemas de corrosión, el oxígeno disuelto es el que domina y muchos de ellos pueden resolverse por completo mediante la desaireación del agua por medios mecánicos, térmicos o químicos. La corrosión se puede estimular de diferentes maneras, por ejemplo porque los metales son desiguales (ocasionan la corrosión de uno de ellos) atmosferas húmedas, otros factores son gases ácidos en la atmósfera o compuesto de azufre de escoria, coque, polvo de carbón, sales que se disocian para producir una reacción ácida y oxígeno disuelto en la película de agua (Perry, 1968).

Figura 22. Corrosión en el interior de un tubo.



Fuente: Fuente: Jenkins, D (1999). Química del agua.

1.5.5.4 Ataque microbiológico

Este tipo de impureza es el originado por microorganismos que se aferran a superficies inaccesibles del sistema haciendo difícil su remoción y, a la vez, atrapan materia orgánica e inorgánica junto con basura y materiales formando incrustaciones. Esta formación de microorganismos en las superficies produce una seria interferencia en la eficiencia de los intercambiadores de calor (Carias, 2010).

1.5.5.5 Ensuciamiento

Los sólidos suspendidos en el agua de enfriamiento también pueden causar problemas al equipo; ensuciamiento es el término que se utiliza para describir la formación de depósitos en la superficie de transferencia de calor causados por sólidos, normalmente suspendidos que entran al sistema en un gran número de formas: limo arenoso en el agua de recuperación, como partículas que acarrea el aire que entra en la torre. (Carias, 2010, p.72)

1.6 AIRE

1.6.1 Humedad

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. El aire seco es la parte de la mezcla compuesta solamente por nitrógeno y oxígeno, y el vapor de agua es lo que se denomina humedad. Existen dos estados extremos del aire atmosférico: el aire seco en el que no hay absolutamente nada de vapor de agua, y el aire saturado de humedad en el que la mezcla contiene todo el vapor de agua que puede absorber el aire seco a esa temperatura. El aire

saturado seco puede absorber más vapor de agua si se lo calienta, y condensa agua líquida en forma de gólicas si se lo enfría. (Rodríguez, 2011, p.503).

Hay dos formas de expresar la humedad: como humedad absoluta y como humedad relativa

1.6.1.1 Humedad absoluta

“Humedad absoluta corresponde a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de masa de aire seco” (Meruane & Garreaud, 2006).

1.6.1.2 Humedad relativa

Humedad relativa se define como la masa de vapor que contiene una masa de aire seco a una cierta temperatura sobre la que tendría a la misma temperatura si estuviese saturado. La razón por la cual siempre se refiere a masa de aire seco es porque esta es invariante o sea una constante. El aire está saturado cuando el agua líquida está en equilibrio con el vapor a esa temperatura y presión. . (Rodríguez, 2011, p.503).

1.6.2 Temperatura de bulbo seco (DB)

“Es la temperatura de una sustancia tal como se lee de un termómetro común. La temperatura de bulbo seco es una indicación del calor sensible contenido en una sustancia” (Berg, 2009).

1.6.3 Temperatura de bulbo húmedo (WB)

La temperatura de bulbo húmedo es usada como una medición del contenido de agua en la humedad del aire. Se obtiene por pasar aire sobre un termómetro que tiene un trapo húmedo sobre su bulbo sensor. Cuanto más seco es el aire, más agua se evaporar del trapo lo que reduce la lectura del termómetro. Si el aire es saturado (100% de humedad relativa), no se evaporará agua del trapo y la temperatura de bulbo húmedo se igualará a la temperatura de bulbo seco. Las líneas de bulbo húmedo se originan donde las líneas de bulbo seco intersectan la línea de saturación y se inclina hacia abajo y a la derecha. Las líneas de bulbo húmedo son casi pero no exactamente paralelas a las líneas de entalpía. (Berg, 2009)

1.6.4 Temperatura de punto de rocío (DP)

La temperatura a la cual el aire tiene que ser enfriado antes de que comience la condensación de su humedad. Ya que una muestra de aire es enfriado, su RH sube hasta que alcanza 100% RH (aire saturado). Esta es la temperatura de punto de rocío. En la saturación, la temperatura de punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco se igualan, y la RH es 100%. Si el aire es pasado a través de una superficie que está debajo del punto de rocío, la humedad del aire se condensara en esa superficie. Es el punto de rocío del aire yendo

a través de las aletas del serpentín enfriador, la que determina si las aletas serán húmedas o secas. El punto de rocío se muestra en la línea de saturación. (Berg, 2009)

1.6.5 Radio de humedad (W)

A veces llamado como “Humedad específica”, este es el peso actual de vapor de agua en una libra de aire seco. La W se mide en Libras (o granos) de vapor de agua por libras de aire seco. Las líneas de Relación de Humedad están en horizontal en el eje vertical del lado derecho de la carta. (Berg, 2009)

1.6.6 Entalpía (H)

Este término se usa para describir el total de calor de una sustancia y se mide en BTU/lb. Para la humedad del aire, la entalpía indica el total de calor en el la mezcla de aire-vapor y se mide en BTU/lb de aire seco. Aire seco a 0°F ha sido asignado una entalpía de 0 BTU/lb. Los valores de la entalpía se encuentran en la escala encima y a la izquierda de la línea de saturación. Las líneas de entalpía constante están inclinadas hacia abajo a la derecha y paralelamente cerca de las líneas de bulbo húmedo. (Berg, 2009)

Al conocer al menos dos de las siete propiedades antes mencionadas para una muestra de aire húmedo y el resto de las cinco propiedades se pueden determinar gráficamente, el estatus del aire puede ser trazado en una carta psicométrica la cual es un esfuerzo por mostrar las relaciones en muchas de las propiedades del aire. Cualquier proceso que consista en calentar, enfriar, deshumidificar o humidificar aire puede ser trazado en la carta psicométrica

Una comprensión de la psicometría y uso de la carta psicométrica es esencial para el proceso de diseño de sistemas y dimensionamiento de sistemas de enfriamiento que son parte de estos sistemas. Cualquiera que sea el tipo de sistema, la corriente de aire que va a través de él puede ser trazada en la carta psicométrica y puede ser aprendida una importante información sobre ella. Con este conocimiento, un diseñador puede responder preguntas y tomar decisiones durante el proceso de selección de un sistema de enfriamiento o refrigeración. (Berg, 2009)

1.7 REFRIGERACIÓN

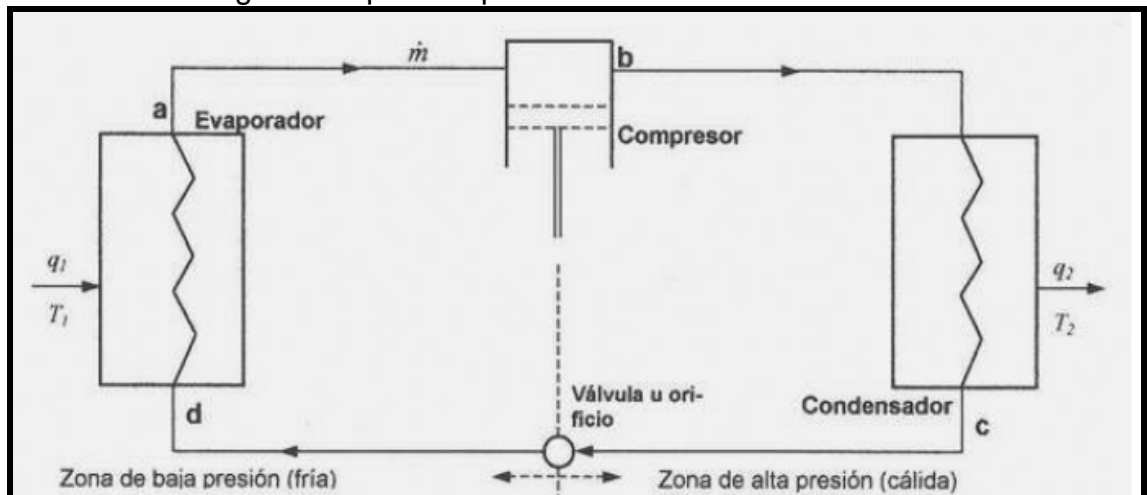
“La refrigeración se emplea para extraer calor de un recinto, disipándolo en el medio ambiente, es decir cuando la temperatura deseada es menor que la del ambiente” (Rodríguez, 2011, p.429).

El sistema de refrigeración de mayor uso en los sistemas industriales es el sistema de compresión de vapor.

“Por su difusión se destacan dos sistemas: la refrigeración por compresión de vapor y la refrigeración por absorción. Ambos tipos producen una región fría por evaporación de un fluido refrigerante a baja temperatura y presión” (Rodríguez, 2011, p.429).

En la refrigeración por compresión descrito en la figura 23, se consume energía mecánica en un compresor que comprime el fluido de trabajo evaporado que viene del evaporador (cámara fría) de modo que el calor que tomo el fluido refrigerante en el evaporador pueda ser disipado aun nivel térmico superior en el condensador. Luego de ello el fluido pasa aun expansor que es una simple válvula o restricción (orificio capilar) de modo que el fluido condensado (liquido) a alta presión que sale relativamente frio del condensador al expandirse se vaporiza, con lo que se enfría considerablemente ya que para ello requiere una gran cantidad de calor, dado por su calor latente de vaporización, que toma precisamente del fluido a refrigerar. (Rodríguez, 2011, p.430).

Figura 23. Ciclo refrigeración por compresión



Fuente: Rodríguez. (2003). Introducción a la termodinámica. Universidad Tecnológica Nacional. México.

1.7.1 Refrigerantes

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo de compresión-vapor, debe poseer ciertas propiedades químicas, físicas y termodinámicas que lo hagan seguro y económico durante su uso. (UTO, 2007)

El refrigerante ideal no existe, pero de acuerdo a sus aplicaciones y el uso apropiado como refrigerante, la sustancia debería ser químicamente inerte hasta el grado de no ser inflamable, no ser explosivo, no ser tóxico y no deberá reaccionar desfavorablemente con el aceite lubricante del compresor o con cualquier otro material normalmente usado en la construcción del equipo de refrigeración. Los refrigerantes no deberán reaccionar negativamente con la humedad que aunque restringida puede existir en el sistema, además se desea que esta sustancia

no contamine los productos almacenados, no perjudique la salud de los ocupantes y no contamine el ambiente. Como es de esperar, es muy poco probable que una sola sustancia tenga todas las propiedades anteriores. (UTO, 2007)

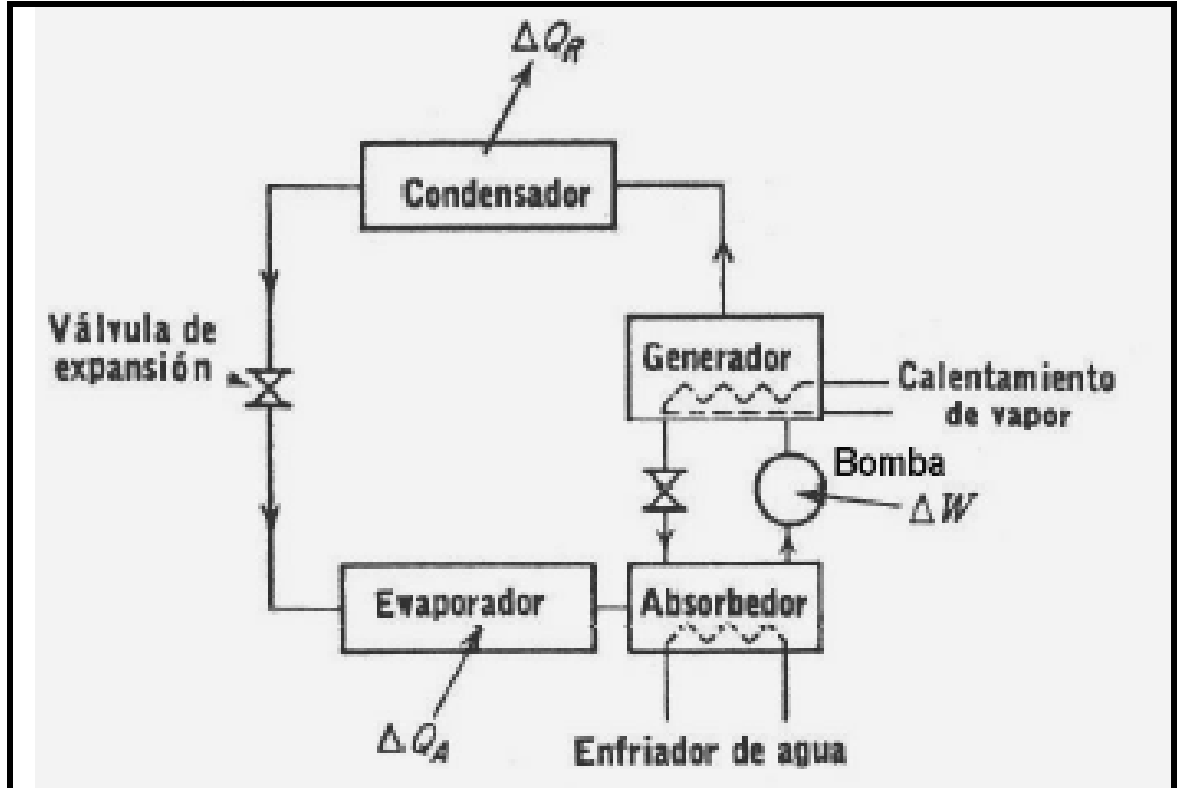
Clasificación de los refrigerantes según sus componentes químicos de acuerdo con su composición química, los refrigerantes se agrupan en: CFC, HCFC, HFC, mezclas de los anteriores, e hidrocarburos. A continuación se describen las principales propiedades de cada grupo o familia.

1.7.2 Refrigeración por absorción

Ya se han mencionado que el trabajo consumido para impulsar un líquido es mucho menor del que se necesita para comprimir un gas. La refrigeración por absorción descrito en la figura 24, toma partido de esta ventaja haciendo innecesario el compresor. Esto significa un ahorro considerable de costo, tanto inicial como operativo. El precio que se debe pagar por esta mejora es una disminución del rango de temperaturas que se pueden alcanzar. En el método de refrigeración por absorción se reemplaza el compresor por un par de equipos: el generador y el absorbedor. (Rodríguez, 2011, p.455).

Al igual que en el método por compresión, refrigerante pasa del condensador a la válvula de expansión y de allí al evaporador, donde toma calor de la cámara fría. Pero en el sistema de refrigeración por absorción el vapor que proviene del evaporador, en vez de ir al compresor es absorbido en el absorbedor; este es un recipiente en el que se pone en contacto el vapor con una solución diluida o débil del fluido refrigerante, formando una solución líquida más concentrada o fuerte que se bombea al generador en el cual reina una presión más elevada. En el generador se calienta la solución y el vapor así producido pasa al condensador donde se enfría, mientras que la solución débil que resulta de la evaporación del fluido refrigerante pasa al absorbedor. (Rodríguez, 2011, p.456).

Figura 24. Ciclo refrigeración por absorción



Fuente: Rodríguez. (2003). Introducción a la termodinámica. Universidad Tecnológica Nacional. México.

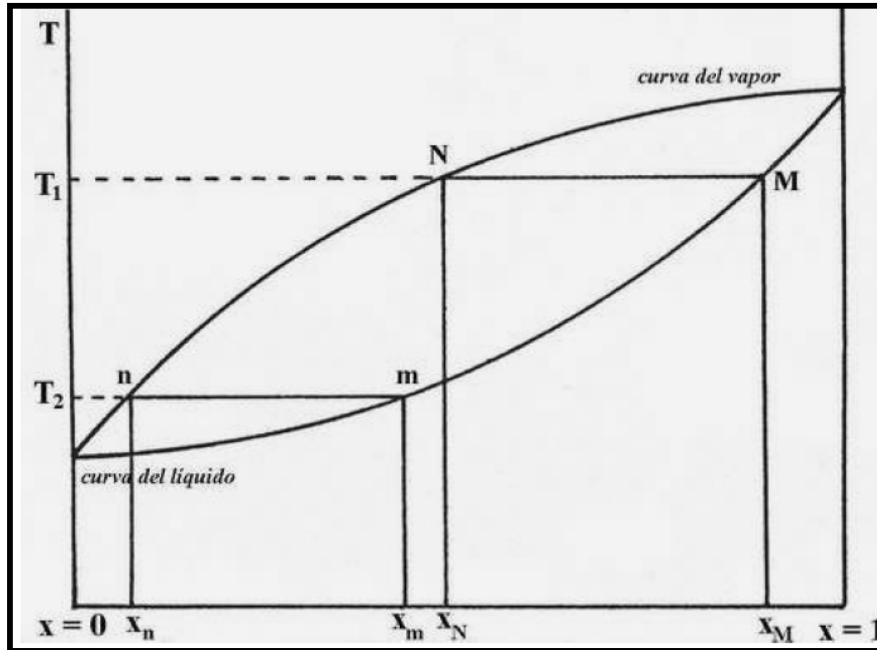
Si bien la cantidad de energía que se ahorra por la ausencia del compresor es importante, existe un consumo bastante grande de energía térmica en el generador que compensa esta ganancia. Además los requerimientos de enfriamiento de los equipos de absorción son mayores que los de compresión y generalmente son más voluminosos y complicados, a pesar de tener menos partes móviles. Debido al consumo de energía térmica sólo se justifica económicamente el uso de equipos de absorción cuando se dispone de energía abundante y barata, como ser calor residual de proceso o que proviene de un sistema generador de potencia. (Rodríguez, 2011, p.457)

Existen dos sustancias usadas comercialmente para equipos de refrigeración por absorción: el amoníaco y el bromuro de litio. En el primer caso el fluido frigorífico es el amoníaco y en el segundo es el vapor de agua. Ambas forman soluciones binarias con el agua. La más ventajosa es la de agua-bromuro de litio, aunque el amoníaco es más barato, porque tiene un alto calor de vaporización y una pequeña presión de vapor, permitiendo así usar equipos más livianos y baratos, porque las paredes metálicas de los recipientes y tuberías pueden ser más delgadas que si se usa amoníaco. Además y a diferencia del amoníaco el bromuro de litio no es inflamable ni tóxico. Como su solución acuosa no es volátil no requiere rectificación, es decir, no hay que purificar la sustancia de trabajo por destilación. (Rodríguez, 2011, p.456)

Por lo general se enfría un fluido intermediario usado como fluido frío para intercambiar calor en distintos sectores del proceso donde haga falta. Existen varios fluidos apropiados para este fin, como las salmueras o soluciones salinas. El equipo frigorífico enfría al fluido intermediario y este se envía al proceso.

El nombre de refrigeración por absorción se usa por tradición pero no es el correcto, ya que se debiera llamar refrigeración por disolución. Se basa en las propiedades de las soluciones binarias. A diferencia de las sustancias puras, las soluciones tienen la propiedad de disolver el vapor de una composición con el líquido de otra composición distinta. En el diagrama temperatura-concentración que vemos a continuación, donde se grafica la temperatura y la fracción molar, observamos que a una temperatura determinada coexisten vapor más rico en el componente más volátil con líquido rico en el componente menos volátil. (Rodríguez, 2011, p.458)

Figura 25. Diagrama temperatura concentración vapor-liquido



Fuente: Rodríguez. (2003). *Introducción a la termodinámica*. Universidad Tecnológica Nacional. México.

En figura 25 podemos observar que la temperatura T_1 tenemos vapor de composición X_N en equilibrio con líquido de composición X_M . A la temperatura T_2 tenemos líquido de composición X_m en equilibrio con vapor de composición X_n ; si de alguna manera ponemos en contacto vapor de composición X_n con líquido de composición X_M , con respecto al cual el vapor está sobre enfriado (porque T_2 es menor que T_1) es evidente que el vapor se condensará. En principio el vapor y el líquido intercambian calor, es decir el vapor se calienta y el líquido se enfría (se entiende que a la misma presión) hasta una temperatura intermedia entre T_1 y T_2 , a la que corresponde una composición intermedia entre X_m y X_N . Esto equivale a la

compresión en el sistema por compresión, es decir, pasar el fluido de trabajo del estado de vapor al estado líquido. (Rodríguez, 2011, p.458)

1.7.2.1 Equipos que funcionan con bromuro de litio

En instalaciones frigoríficas en las que la temperatura mínima está por encima de 0 °C y se quiere usar un ciclo de absorción es muy frecuente encontrar equipos de bromuro de litio, debido a las ventajas que se mencionan arriba. Además, como las soluciones de bromuro de litio no son volátiles a diferencia de lo que ocurre con las soluciones de amoníaco, no se requiere rectificación. Por ese motivo los equipos de absorción a bromuro de litio son mucho más compactos que los de amoníaco. (Rodríguez, 2011, p.458)

Los equipos de refrigeración por absorción a bromuro de litio se clasifican en equipos de una o dos etapas, comúnmente denominados de simple y doble efecto.

1.7.3 Sistemas de compresión vs absorción

En todo proceso de selección de soluciones hipotéticas a un determinado problema de aprovechamiento energético, las premisas que influyen en la decisión de los proyectistas y de las propiedades son de índole económica, fundamentalmente, aunque hoy en día las consideraciones de impacto ambiental tienen también una importancia prioritaria; según este orden de ideas, es preciso analizar en detalle todas las posibles soluciones teniendo en consideración no solo el costo de los equipos a instalar, sino también el costo de las energías a consumir, y la facilidad con que se puedan adquirir, para ser sostenibles en el futuro (Cano, 2002).

El costo inicial de una planta frigorífica de absorción resulta, en la mayoría de los casos, superior al de un equipo de compresión mecánica de la misma capacidad. La razón para esta diferencia está en la cantidad de materiales metálicos que son necesarios para la fabricación de los intercambiadores de calor, en equipos que se basan en procesos termodinámicos sin prácticamente aportación del equivalente térmico del trabajo mecánico. (Cano, 2002, p.7).

“Cuando se analizan los costos de explotación a partir del valor de las energías consumibles, la balanza puede desplazarse a favor de los equipos de absorción, si se dan las condiciones de partida necesarias” (ASHRAE, 1995).

El concepto de C.O.P. (Coefficient of Performance) en refrigeración, es sinónimo de Eficiencia Energética en el evaporador. C.O.P. se define “oficialmente” como: “La cantidad de refrigeración obtenida de una máquina dividida entre la cantidad de energía que se requiere aportar para conseguir esta refrigeración. (ASHRAE, 1997)

“Los C.O.P.s esperables de los ciclos de absorción son también muy bajos comparados con los de los ciclos de compresión mecánica. En máquinas de absorción de una etapa, con Bromuro de Litio, no se superan C.O.P de 0,7” (Cano, 2002, p.11).

Por el contrario en equipos de compresión mecánica de gran volumen, con compresores centrífugos y de tornillo, se consiguen en la actualidad rendimientos frigoríficos entre 4,5 y 5,5 kW/kW (C.O.P.s en el evaporador de 4,5 a 5,5). A igualdad de costes de las energías consumibles, estas diferencias evidencia la eficiencia de los ciclos de refrigeración por compresión mecánica, pero el costo de producir el trabajo mecánico necesario para obtener un kW de refrigeración por ciclo de compresión mecánica de vapor es, normalmente, superior al costo necesario para recuperar la cantidad de calor a aplicar para obtener el mismo kW en un ciclo de absorción. El costo de la energía básica es el único factor que determina la posible competitividad de los sistemas de absorción frente a los de compresión mecánica. (Cano, 2002, p.11)

Lo que es evidente es que siempre que exista la posibilidad de utilizar energías térmicas desechables, gratuitas, o de muy bajo coste, procedentes de energías renovables, o efluentes de procesos industriales o de sistemas de cogeneración las cuales son la energía primaria para refrigeración por absorción el costo de producción será más bajo y esto hace viable la adaptación de estos sistemas. (Cano, 2002, p.12)

Mediante un sistema de enfriamiento con recuperación del agua perdida en las torres de enfriamiento de nuestra patente P 200501685, conseguiremos reducir totalmente el consumo de agua, incluso evitaremos las pérdidas de agua debido a las purgas. El agua recuperada la devolvemos al sistema a una temperatura de +10°C, con lo que bajaremos la presión de condensación aumentando el rendimiento de la turbina (AQUAER, 2009).

En las instalaciones donde, por falta de agua, es obligado funcionar con condensadores de aire, existe el problema de la falta de rendimiento ya que se trabaja con unas temperaturas de condensación muy superiores a las correspondientes a las torres de enfriamiento. Con nuestro sistema de recuperación del agua perdida, no hay ningún problema en utilizar las torres de enfriamiento aumentando el rendimiento de la instalación incluso al doble, ya que si bajamos 10°C la temperatura de condensación aumentaremos el rendimiento en un 40%. (AQUAER, 2009).

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 TIPO DE ESTUDIO

La búsqueda de las alternativas de reducción de pérdidas de agua del proceso autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, se planteó la aplicación de un estudio cuantitativo, el cual Constituyo una perspectiva de la investigación en la que, en su forma ideal, se parte de la teorización de conceptos aceptados por la comunidad científica.

Se basó en la selección de variables medibles como el flujo de captación y vertimiento, los niveles del tanque de succión y agua clarificada y la característica más influyente frente a la calidad de agua siendo esta la conductividad.

Se analizó el resultado del tratamiento estadístico de los datos para y así se cuantificaron, y de allí surgieron los criterios para la selección de las alternativas apropiadas para la reducción de pérdidas del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Este estudio se desarrolló en el proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso, donde se tomaron los datos de control utilizados por el proceso para el seguimiento de las variables involucradas en el uso del agua para los procesos de generación de vapor y ciclo de enfriamiento.

2.3 DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS

Al desarrollar el estudio de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso, se basara en dar validez a la hipótesis H0: existen alternativas para la reducción de pérdidas de agua en el proceso de autogeneración; de lo contrario se aceptara la siguiente hipótesis, H1: No existen alternativas para reducir las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración.

2.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

“Para la metodología de la investigación, una variable representa cualquier propiedad, característica o atributo dado en grados o modalidades diferentes en los objetos, los hechos o las personas, y por derivación, en los grupos y categorías sociales” (Briones, 1997, p.).

Al buscar las alternativas para la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso se seleccionaron las variables a estudiar, las cuales se enfocaron en la solución a la pregunta investigación donde las pérdidas de agua dependen de las alternativas que se puedan proponer para su reducción, por tal motivo se tomaron los datos de consumo y vertimiento de agua del proceso, y a partir de estos datos de flujo y características del agua se plantearon las opciones para minimizar o eliminar las pérdidas de agua del proceso de autogeneración.

2.5 CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Los criterios de validez y confiabilidad que se aplicaron en el proceso fueron enfocados en el procedimiento para la toma de datos de flujo captación y vertimiento, los cuales son consignados en el formato diseñado para tal fin.

Para garantizar la validez y confiabilidad de los instrumentos que se utilizaran para realizar las mediciones se aplicara un TEST-RETEST para su confiabilidad, el cual se aplicara con la revisión de los datos tomada por cada uno de los operadores y se contrastaran con las condiciones del proceso, donde se debe encontrar una consistencia entre ellos.

En este caso específico se corroboró la validez de los datos constatando que la fuente de donde se tomaron los datos están midiendo exactamente la variable que estamos analizando, siendo en este caso el flujo de captación y vertimiento, de igual forma se garantizó la validez de los datos emitidos por la fuente que en este caso son medidores de flujo, verificando la veracidad de la lectura arrojada por medio de una medición externa la cual emitió un certificado de calibración en el anexo G.

2.6 INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se utilizaron en la búsqueda de alternativas de reducción de pérdidas del proceso de autogeneración de cementos ARGOS, Planta Sogamoso, son los formatos que recopilan la información de los flujos de captación y vertimiento los cuales se observan en el anexo F, estos formatos son llamados consumo agua proceso autogeneración 2014 y vertimiento proceso autogeneración 2014 respectivamente.

Estos formatos se encuentran en el programa Excel, donde se encuentra distribuido por columnas distribuidas de la siguiente forma, en la columna A se encuentra la fecha en la que se toma la lectura, en la columna B esta la hora en la que se toma la lectura, que por efectos de control esta se debe realizar a las 0:00 horas de cada día, en la columna C se encuentra el último dato de consumo o vertimiento de agua tomado y este debe estar en metros cúbicos por hora, en la columna D se debe digitar el valor de consumo o vertimiento del día correspondiente a la fecha anteriormente fijada, este dato debe estar en metros cúbicos por hora, en la columna E se realiza una resta entre las columnas C y D, para así calcular el consumo en metros cúbicos del día, bien sea de captación o de vertimiento según sea el formato que se esté alimentando, en la columna F se realiza un cálculo para realizar la conversión de metros cúbicos por hora a litros por segundo, unidades en las cuales la corporación autónoma de Boyacá emitió la licencia de concesión de captación y vertimiento; por ultimo en la columna G se encuentra la media aritmética del consumo o vertimiento de agua mensual del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

2.7 PROCEDIMIENTOS

Para alimentar los formatos de consumo agua proceso autogeneración 2014 y vertimiento proceso autogeneración 2014, se debe tomar los datos de flujo de captación y vertimientos del proceso autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso de la fuente o medidores de flujo, estos datos se toman por medio de una ruta de verificación de condiciones operativas, se debe tomar la lectura del medidor de flujo de captación el cual se encuentra en la línea de agua cruda antes de la entrada al clarificador y el medidor flujo de vertimiento que se encuentra en la salida del filtro de los vertimientos.

Al tener esta lectura se debe ingresar en la siguiente dirección, la cual se encuentra en el servidor de la red ARGOS, \\cocprdcpfw6k02\DATOS ENERGIA\DATOS ENERGIA AUTOGENERACION, por medio de la estación de trabajo que se encuentra ubicada en sala de control, al introducir los datos en el formato correspondiente bien sea de consumo agua proceso autogeneración 2014 o vertimiento proceso autogeneración 2014, el dato tomado debe ser digitado en la columna D, donde quedara el registro del consumo y vertimiento de agua.

2.8 ETAPAS

Las etapas para extraer la información del proceso se realiza por medio de una recolección de los datos de forma diaria, directamente de la fuente que mide la variable a analizar, posteriormente esta información es ingresada al formato creado para su control tanto el valor de captación como el de vertimiento.

Si al consignar los datos se detecta alguna inconsistencia en la secuencia, se debe repetir el proceso de recolección de datos y verificar el dato en la fuente, y así realizar la corrección necesaria; posteriormente se analiza la información con respecto a las condiciones del proceso, es decir se compara la información de la fuente de la variable con el valor de captación y vertimiento de acuerdo a la licencia ambiental anexo E; si estos valores superan el límite máximo de flujo tanto de captación como de vertimiento se deben tomar las medidas correctivas apropiadas para en marcar estos flujos dentro de la licencia ambiental.

2.9 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos se realizó tomando el valor cuantitativo de las variables estudiadas de nivel de tanque de succión, nivel de agua clarificada y conductividad del agua de captación donde se realizó una media aritmética de los datos, para así se conocer su comportamiento gráficamente y sus relaciones.

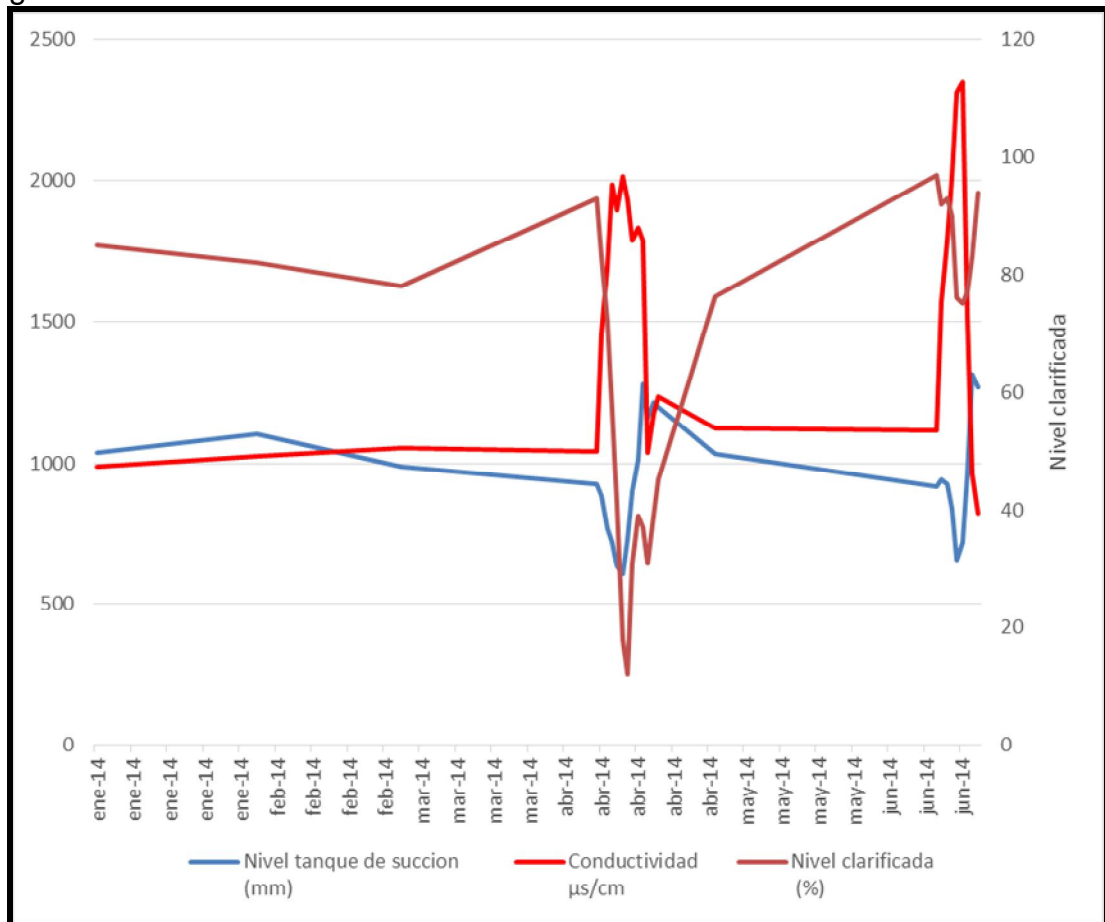
Posteriormente se aplicó la técnica de probabilidad de regresión lineal a cada una de las variables con el fin de identificar su tendencia a lo largo del tiempo, y de esta forma se obtuvieron los criterios para determinar cuál es la variable a intervenir.

De igual forma se tomaron los datos de captación y vertimiento, donde se calculó el flujo de pérdidas por evaporación y de esta forma se aplicó técnicas de estadística descriptiva para calcular específicamente la media aritmética y la desviación estándar de las variables, posteriormente se necesitó conocer la variabilidad de los datos, por tal motivo se tipificaron los datos y se hallaron los porcentajes bajo una curva de distribución normal, donde se observó el comportamiento de la variable.

3. ANÁLISIS DE DATOS

Al tomar los datos del proceso se observa el comportamiento del nivel del tanque de succión, nivel clarificada y conductividad (parámetro evaluado para conocer la tratabilidad del agua), los datos se encuentran en anexo A y en la gráfica 26 se grafican estos datos para evidenciar sus relaciones.

Figura 26. Grafica Comportamiento de tanques de agua del proceso de autogeneración



Fuente: Sotelo, D

Al analizar el grafico se evidencio que el nivel de tanque de succión se mantuvo estable hasta el mes de marzo, pero en abril tuvo una disminución considerable, lo cual disminuyo el flujo de captación para el proceso, en el mes de mayo retoma su nivel de operatividad manteniendo estable el flujo de captación. Sin embargo en junio el nivel del tanque de succión vuelve a disminuir a valores críticos donde se vio comprometido el flujo de captación.

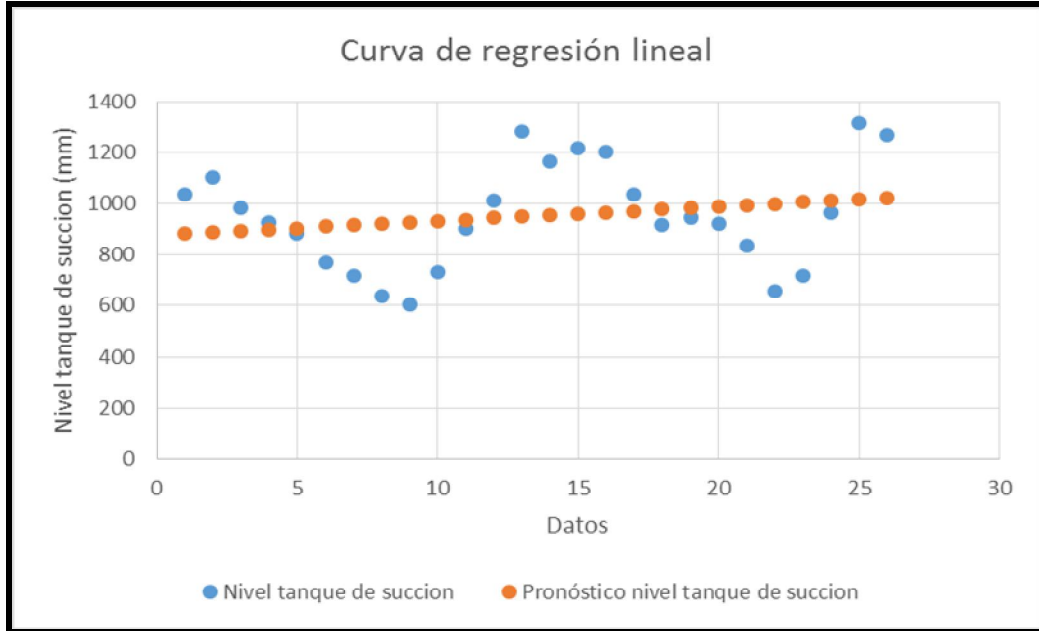
El comportamiento de la variable de conductividad en el transcurso de los meses de enero, febrero y marzo, conservo un valor estable y dentro de la ventana operativa de proceso, este valor de conductividad no debería ser mayor a 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ya que si este valor es mayor se ve afectada la calidad del agua y por ende todos los equipos involucrados en el sistema de enfriamiento; en el mes de abril esta variable toma un valor de 2015 $\mu\text{s}/\text{cm}$, punto en el cual los equipos de enfriamiento sufren un deterioro en el tiempo, en mayo se estabilizo nuevamente el valor; pero al observar el valor de la variable en el mes junio esta alcanza valores 2350 $\mu\text{s}/\text{cm}$, los cuales llegan al límite de operatividad frente a la conservación de la vida útil de los equipos.

El nivel de clarificada en los primeros 3 meses se encuentra dentro de valores entre 78% y 83% lo cual son ideales para la operación del proceso de autogeneración, en el mes de junio se llegó a un nivel crítico de 12% lo cual obligo a disminuir la generación de energía, para recuperar el nivel de clarificada en el mes de mayo se normalizo el nivel, sin embargo en el mes de junio se evidencia nuevamente una abrupta disminución del nivel de clarificada.

Se realizó el comportamiento de las tres variables y sus relaciones podemos observar que el nivel tanque de succión y nivel clarificada están relacionados directamente ya que los valores de estas dos variables fluctúan en el mismo sentido, por ende, al disminuir el nivel tanque de succión también disminuye el nivel de clarificada, pero el comportamiento de la conductividad es opuesto, es decir, al disminuir los niveles de succión y clarificada el valor de la conductividad aumenta.

Se realizó un pronóstico en el tiempo del comportamiento de las variables anteriormente analizadas, donde se aplicó una regresión lineal y por medio de un diagrama de dispersión se conocieron la tendencia de las variables.

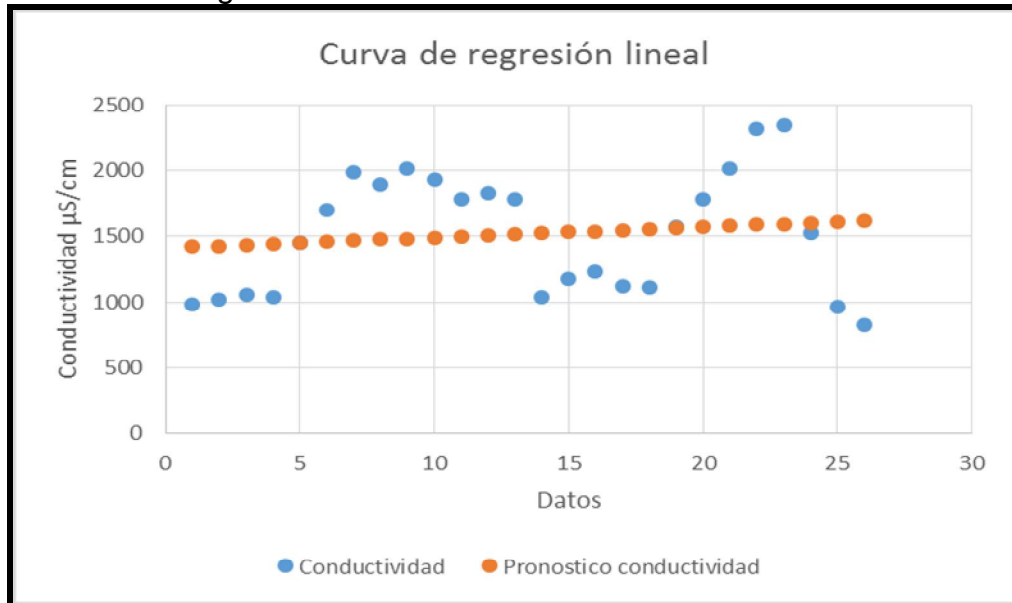
Figura 27. Grafico regresión lineal nivel tanque de succión



Fuente: Sotelo, D.

En la curva de regresion lineal del nivel de tanque de succion figura 27, se observo que la tendencia de esta variable, esta descrita por una linea recta cuya pendiente es positiva, lo cual indica que el nivel del tanque de succion ira en aumento con respecto al tiempo.

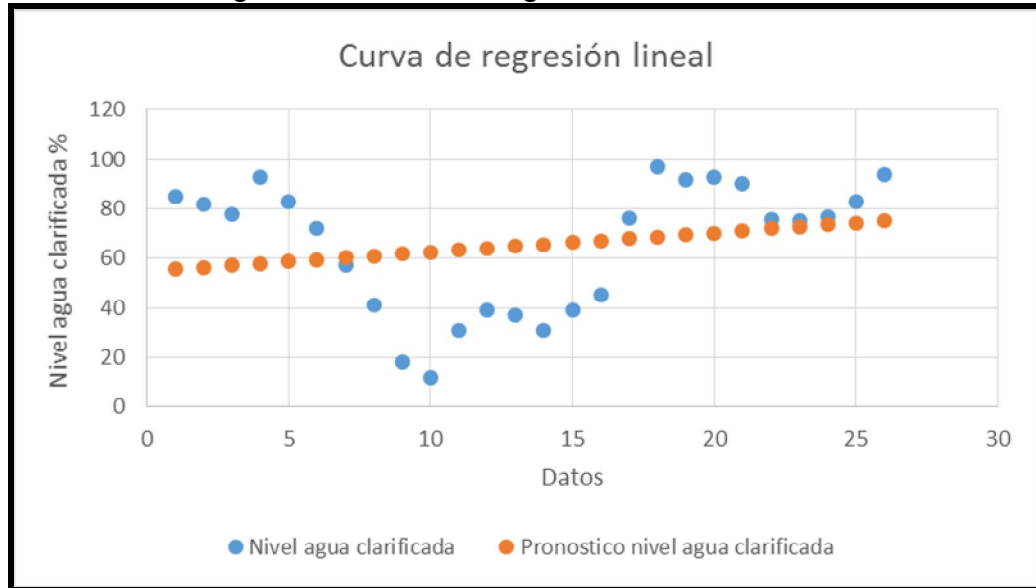
Figura 28. Grafico regresión lineal conductividad.



Fuente: Sotelo, D.

En la curva de regresión lineal de la conductividad figura 28, se observó que la tendencia de esta variable, está descrita por una línea recta cuya pendiente es positiva, lo cual indica que la conductividad irá en aumento con respecto al tiempo, lo que traería como consecuencia una mayor probabilidad en el daño de equipos en el sistema de enfriamiento, sino se aumenta la cantidad de agua purgada en la torre de enfriamiento, por consiguiente las pérdidas de agua aumentarían.

Figura 29. Gráfico regresión lineal nivel agua clarificada.



Fuente: Sotelo, D.

En la curva de regresión lineal del nivel agua clarificada figura 29, se observó que la tendencia de esta variable, está descrita por una línea recta cuya pendiente es positiva, lo cual indica que el nivel agua clarificada irá en aumento con respecto al tiempo.

Al obtener los resultados de los análisis se determinó que la variable que incide de forma directa y negativa el proceso es la conductividad del agua, la cual es controlada únicamente por las purgas en el proceso de enfriamiento y este flujo es vertido en el río Chicamocha.

En el proceso de autogeneración se tiene una concesión de vertimientos por parte de la corporación de Boyacá, estos efluentes son las purgas del proceso de caldera, planta de agua y torre de enfriamiento las cuales se vierten debido a que sus características no cumplen con los parámetros mínimos para su uso dentro de los diferentes procesos, estas purgas son recolectadas en la piscina de neutralización como un solo volumen y son enviadas por medio de bombeo nuevamente al río Chicamocha.

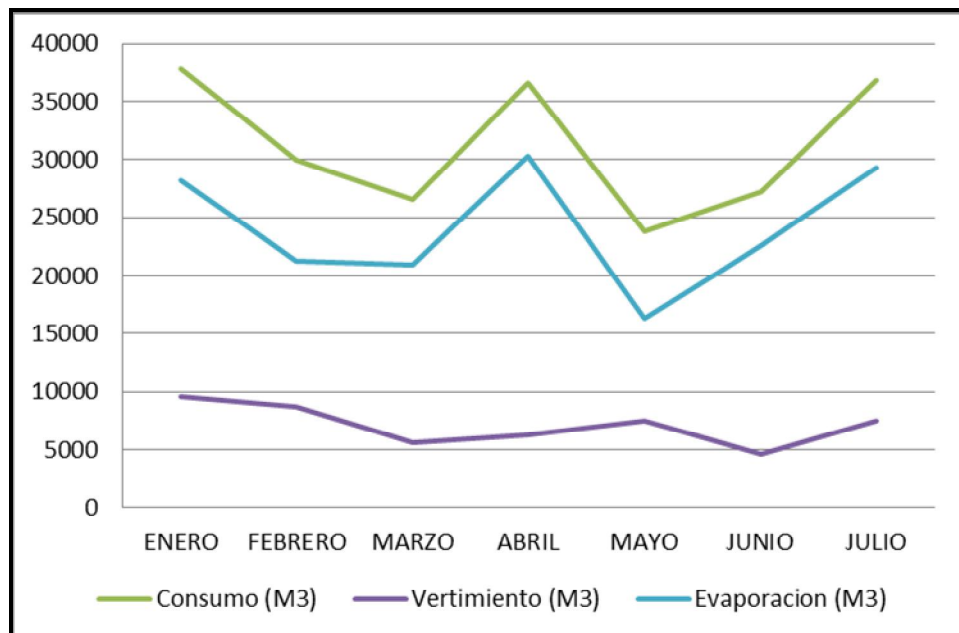
Las purgas de la caldera se dan para mantener en niveles permisibles la concentración de sales dentro del sistema de vapor y así evitar las posibles incrustaciones dentro de la caldera y la turbina, los vertimientos de planta de agua son debidos principalmente a las regeneración de los lechos de resinas de intercambio iónico y las purgas de la torre se hacen para mantener la calidad de agua dentro de parámetros para evitar incrustaciones o ensuciamiento del condensador de superficie de la turbina esto se realiza a través del índice de langelier.

La pérdidas de agua por evaporación se dan por el proceso de enfriamiento en la torre, está perdida teóricamente es de 19,9 l/s, la cual está dada por el flujo de las bombas de recirculación de agua de enfriamiento, este se calculó se realizado con base a la teoría dada por el fabricante de la torre.

Al identificar los puntos donde se están originando las pérdidas, se procede a evaluar su flujo en la figura 30, esto se realizó con el análisis de los datos de flujo de captación esta captación e y vertimiento a lo largo de los último siete meses como se muestran en el anexo B.

La captación de agua y el vertimiento del proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso, se encuentra regida por licencias ambientales, las cuales fueron otorgadas por la corporación autónoma regional de Boyacá, la solicitud de las licencias se encuentran en el anexo E.

Figura 30. Grafica datos de consumo y pérdidas de agua



Fuente. Sotelo, D.

Al realizar el análisis de los datos en la gráfica podemos observar que la mayor parte del consumo de agua se pierde por el proceso de evaporación en la torre de enfriamiento, de igual forma la variabilidad de los datos de captación se debe a los niveles de generación de la planta, el consumo de agua es directamente proporcional a la cantidad de kilovatios generados y por ende las pérdidas de agua bien sea por evaporación o vertimiento aumentan proporcionalmente al consumo.

Tabla 1. Análisis estadísticos datos de consumo y perdidas de agua.

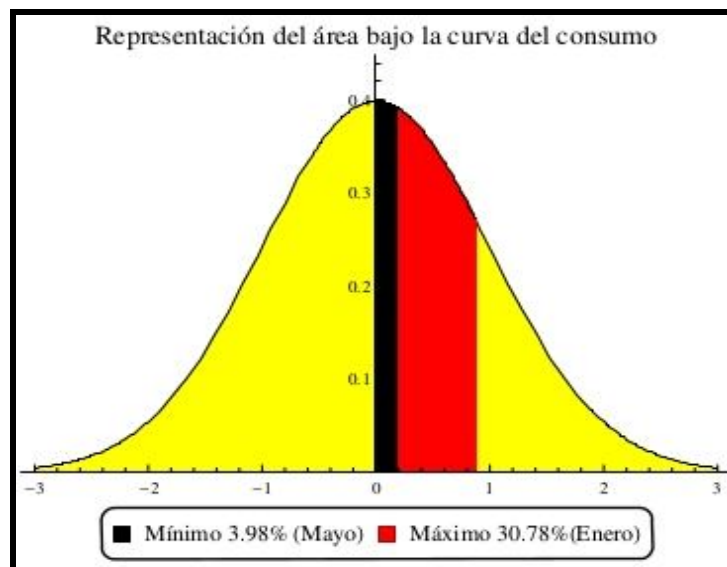
	CONSUMO (M ³)	VERTIMIENTO (M ³)	EVAPORACIÓN (M ³)
MEDIA	31252	7118	24134
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5739	1732	5225

Fuente. Sotelo, D

Con el dato de la media aritmética y la desviación estándar que se muestran en la tabla 1, se tipificaron los datos y se ubicaron en una distribución normal para así conocer su grado de variabilidad dentro de la campana de gauss, estos datos se pueden observar encuentran en el anexo C.

Al tener los datos normalizados y ubicados en la tabla podemos concluir que el mayor valor es el de 30,78 %, por consiguiente. Una característica importante de la curva normal y de los datos normalizados es que el área bajo la curva desde la media hasta una desviación estándar, siempre es del 34.13% respecto del área total que puede haber bajo la curva.

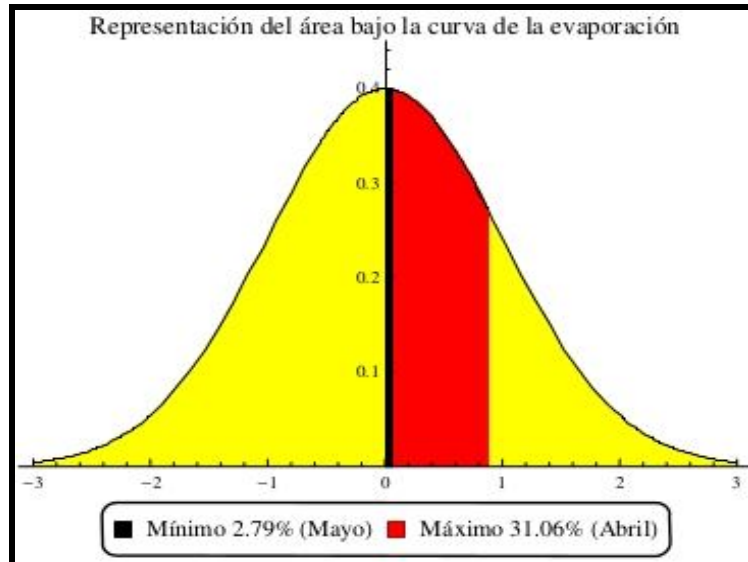
Figura 31. Representación del área bajo la curva del consumo.



Fuente: Sotelo, D.

La representación del área bajo la curva del consumo de agua en la figura 31, mostro su variabilidad dentro de la campana de gauss, donde se representó en una distribución normal, estos valores se encuentra dentro de una desviación estándar ya que su valor mínimo es de 3.98% en el mes de mayo y su máximo es de 30.78% en el mes de enero.

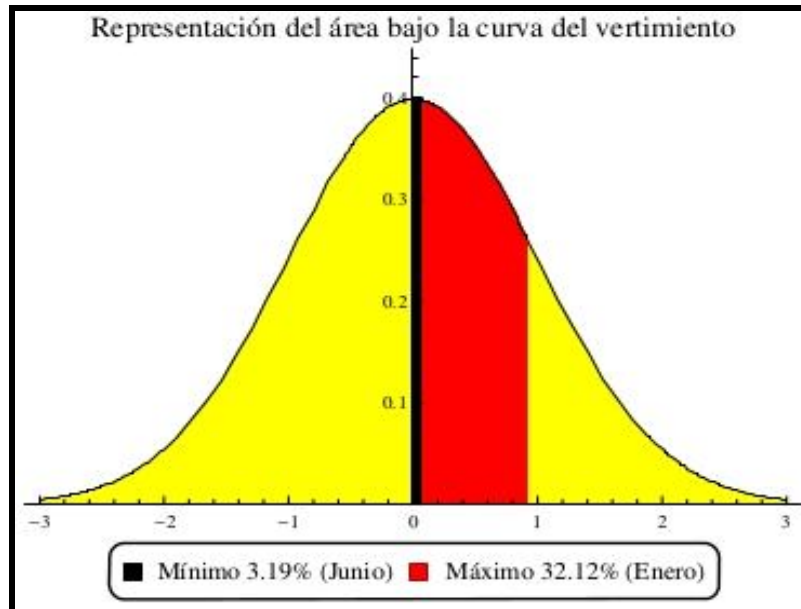
Figura 32 Representación del área bajo la curva de la evaporación



Fuente: Sotelo, D.

La representación del área bajo la curva de las pérdidas de agua por evaporación en la figura 32, mostro su variabilidad dentro de la campana de gauss, donde se representó en una distribución normal, estos valores se encuentra dentro de una desviación estándar ya que su valor mínimo es de 2.79% en el mes de mayo y su máximo es de 31.06% en el mes de abril.

Figura 33 Representación del área bajo la curva del vertimiento



Fuente: Sotelo, D.

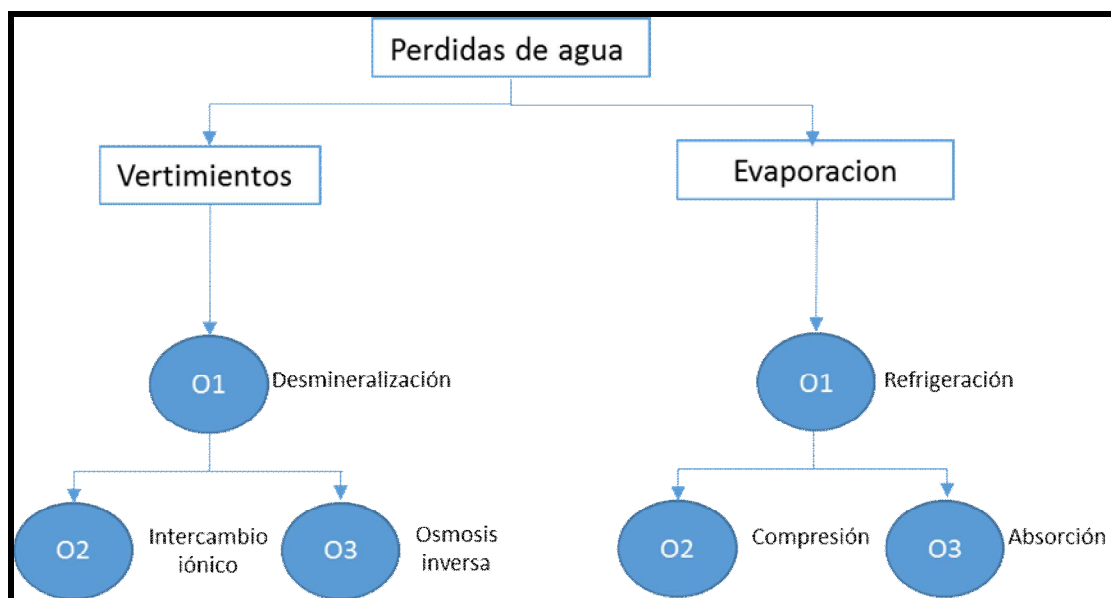
La representación del área bajo la curva de las pérdidas de agua en el vertimiento en la figura 33, muestra su variabilidad dentro de la campana de Gauss, donde se representó en una distribución normal, estos valores se encuentran dentro de una desviación estándar ya que su valor mínimo es de 3.19% en el mes de junio y su máximo es de 32.12% en el mes de enero.

Al analizar las gráficas de consumo, vertimiento y evaporación se concluyó que su comportamiento de las variables es estable a lo largo del tiempo, por consiguiente las alternativas para la reducción de pérdidas de agua en el proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso impactan directamente el consumo de agua cualquiera que sea la pérdida a intervenir.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la literatura citada, se puede determinar dos alternativas para reducir las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración.

Figura 34. Alternativas para eliminar las pérdidas de agua en el proceso de autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso.



Fuente: Sotelo, D

4.1 VERTIMIENTOS

Para minimizar las pérdidas por este factor se debe implementar un sistema de desmineralización ya que esta propiedad es la causa por la cual se realizan las purgas del sistema de enfriamiento y generación de vapor, para este fin se debe implementar alguno de las propuestas plasmadas en el marco teórico para así desmineralizar el agua que se está vertiendo en el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso.

Los procesos indicados para la desmineralización de los vertimientos pueden ser el intercambio iónico y/u osmosis inversa o en su defecto se puede diseñar una combinación de ambos sistemas, para diseño se tuvo en cuenta la caracterización del agua y el resultado que se quiere obtener del proceso, de igual forma se debe analizar el costo beneficio de cada uno de los sistemas; en la tabla 2 se realiza una comparación de los dos sistemas de desmineralización teniendo como base la teoría anteriormente mencionada.

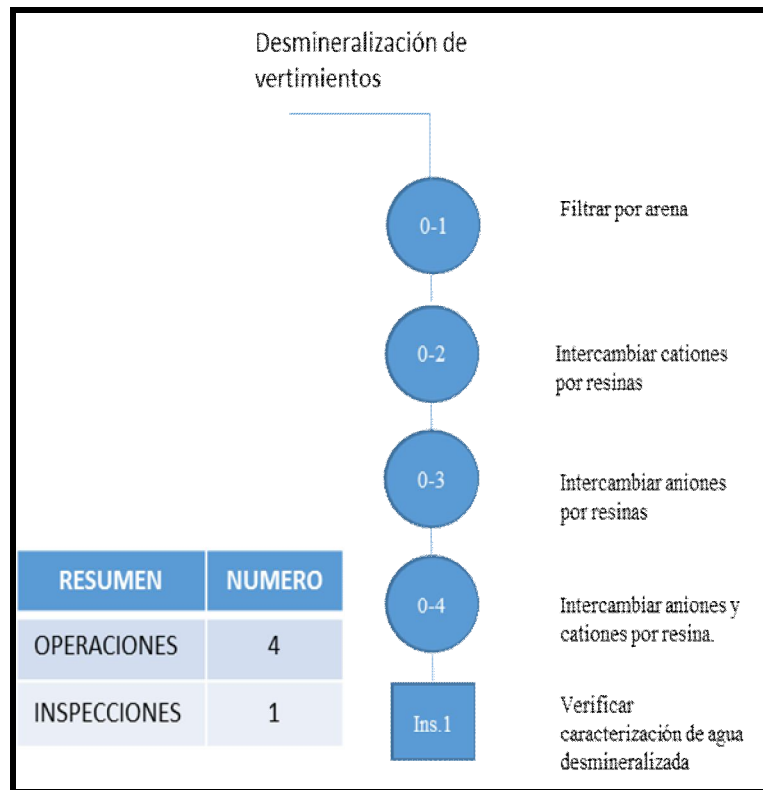
Tabla 2. Sistemas de desmineralización

OSMOSIS INVERSA	INTERCAMBIO IÓNICO
Alto costo de implementación	Bajo costo de implementación
No necesita regeneración	Se debe realizar regeneraciones periódicas dependiendo de la saturación de las resinas, lo cual implica el trámite de la licencia, para la manipulación de soda caustica y acido fuerte.
Se deben realizar limpiezas con productos no oxidantes, al momento de presentar perdida de eficiencia en las membranas	Al momento de contaminarse las resinas se deben cambiar.
Vida útil de las membranas aproximadamente 2 años	Vida útil de las resinas aproximadamente 5 años
Mayor consumo de energía	Bajo consumo de energía
Bajo costo de mantenimiento	Alto costo de mantenimiento.
Al implementar alguna de las siguientes tecnologías se obtiene los mismos resultados frente al porcentaje de desmineralización de agua es decir, alcanzan a tener la misma eficiencia, si se realiza de forma adecuada la selección de membranas y resinas.	

Fuente. Sotelo, D.

En la figura 35 se describe la forma en que se puede implementar un sistema de desmineralización por medio de resinas de intercambio iónico, donde se utiliza un filtro de arena para eliminar solidos suspendidos y posteriormente se alimenta un intercambiador iónico en fase hidrogeno con resina catiónica para eliminar los aniones presentes en el agua y posteriormente se alimenta un intercambiador iónico en fase hidrogeno con resina anicónica para eliminar los cationes presentes en el flujo, al finalizar estos dos procesos alimentamos un intercambiador iónico mezclando las dos resinas para así pulir el flujo y obtener una calidad de agua ideal para retornar el flujo a la torre de enfriamiento.

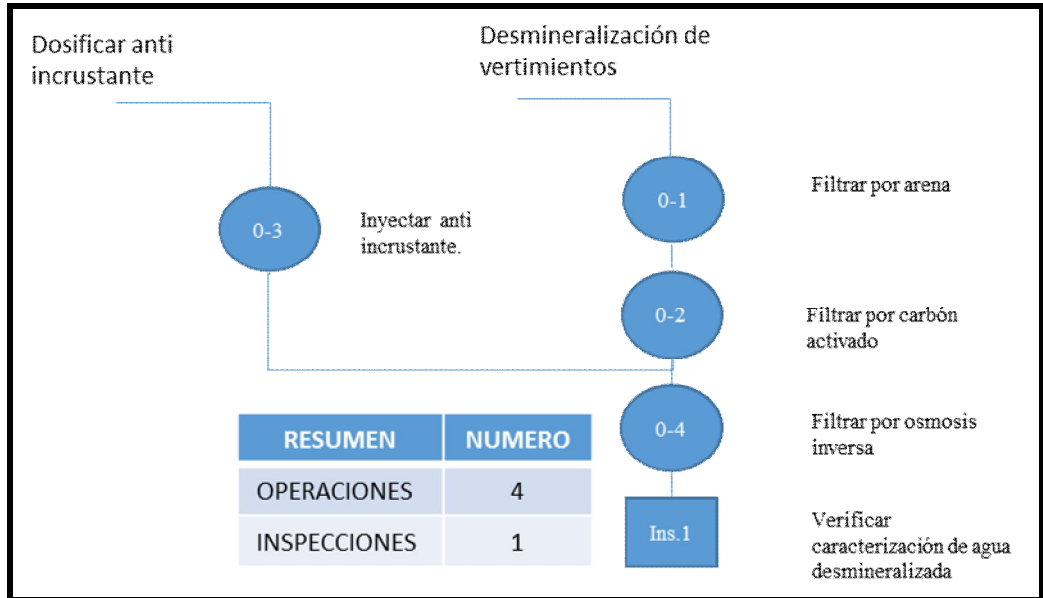
Figura 35. Sistema de desmineralización por intercambio iónico.



Fuente. Sotelo, D.

En la figura 36 se describe la configuración a implementar si se aplica la tecnología de osmosis inversa, esta debe constar de un filtro de arena para eliminar solidos suspendidos un filtro de carbón activo para retirar partículas más pequeñas que en el filtro de arena no pudo retener, posteriormente se alimenta la osmosis inversa donde se realiza el rechazo de las sales disueltas en el agua por medio de una filtración cruzada y así obtener un agua de condiciones ideales para el sistema de refrigeración, sin embargo antes de que el agua ingrese a las membranas de osmosis inversa, se debe dosificar un anti incrustante el cual alargara la vida de las membranas el funcionamiento de este químico se explica detalladamente en el anexo D.

Figura 36. Sistema de desmineralización por osmosis inversa



Fuente. Sotelo, D.

Al realizar el análisis de los datos se propone a continuación un planteamiento para la reducción de pérdidas del proceso.

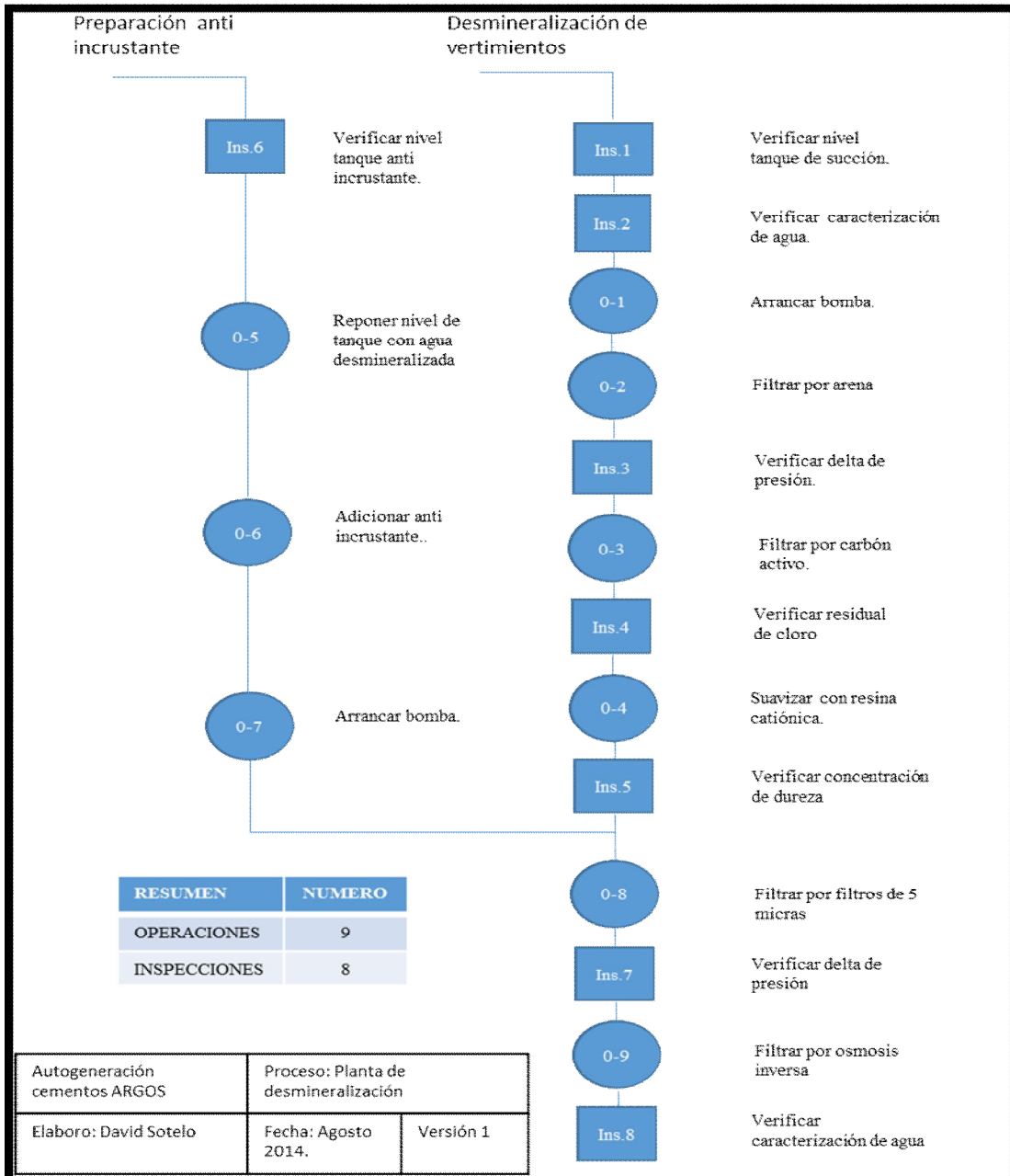
Para el proceso de reducción del consumo de agua a causa de los vertimientos se realiza la siguiente propuesta teniendo como base la integración de las dos tecnologías descritas.

El flujo de diseño de la planta de desmineralización debe ser mínimo de 10 l/s, teniendo como base los datos obtenidos en el cálculo de las perdidas Anexo B para así tener margen operativo para el tratamiento de agua clarificada y por lo tanto mejorar las condiciones operativas de la torre de enfriamiento, de esta forma los flujos que darían de la siguiente forma 40% serían de vertimientos y el restante de agua clarificada.

En la figura 37 se explicó la alternativa propuesta, basado en los pro y los contra de cada uno de los procesos de desmineralización así mismo se acoplaron las dos tecnologías; intercambio iónico y osmosis inversa, donde se implementó un intercambiador iónico en fase sodio con resina catiónica la cual se encarga de retirar la dureza de los vertimientos, reduciendo así la probabilidad de incrustación de las membranas de osmosis inversa; teniendo como principal razón para su selección el bajo costo de su regeneración la cual se realiza con sal común, y para retirar las sales solubles se aplica un proceso de osmosis inversa el cual se

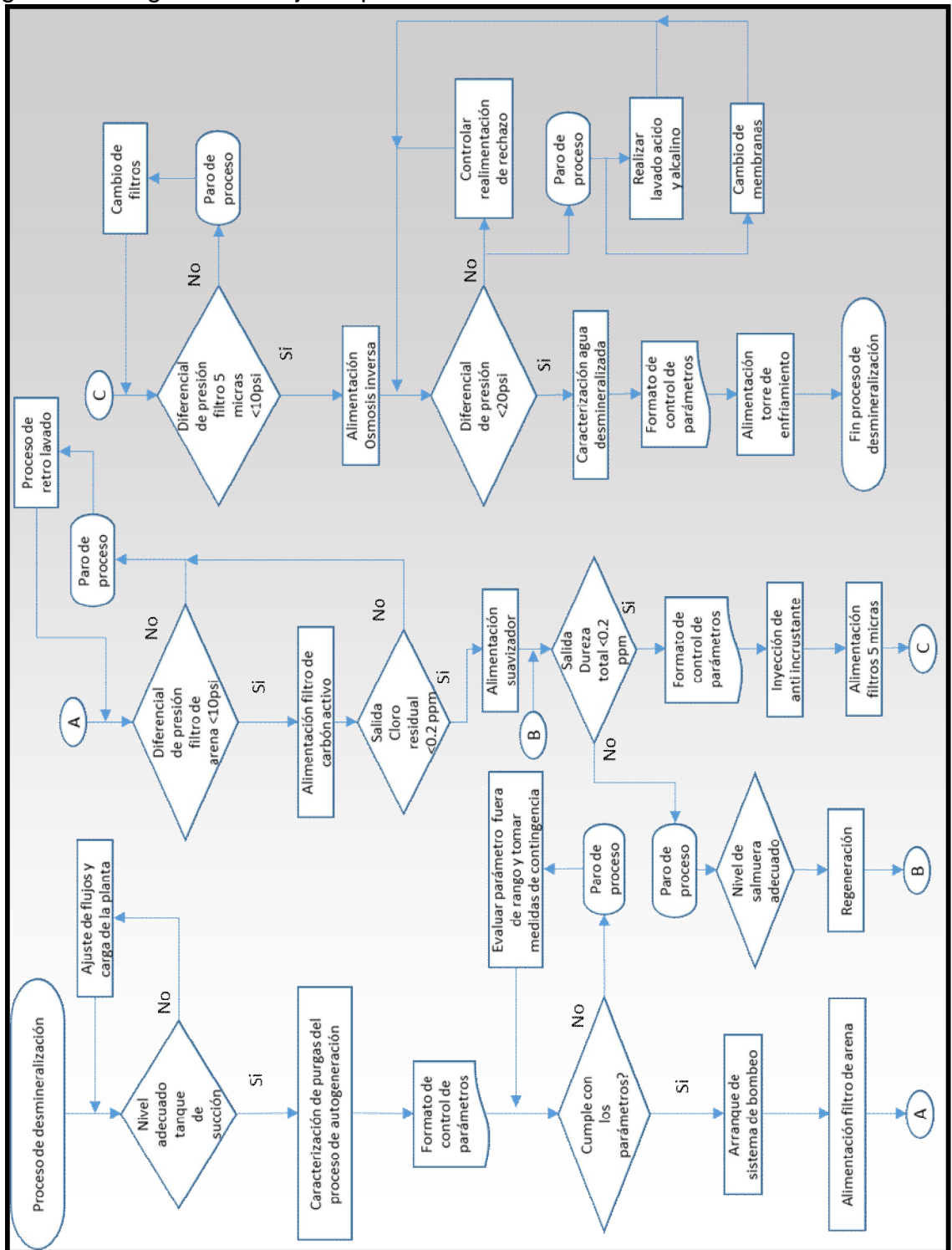
aprovechó por sus los bajos costos de mantenimiento la cual no requiere de ácidos y bases para su operación y su afectividad para la desmineralización del agua. En la figura 38 muestra el diseño de un diagrama de flujo donde se expuso la operación del proceso de desmineralización de los vertimientos.

Figura 37 Diagrama de proceso de operación de proceso de desmineralización



Fuente: Sotelo, D.

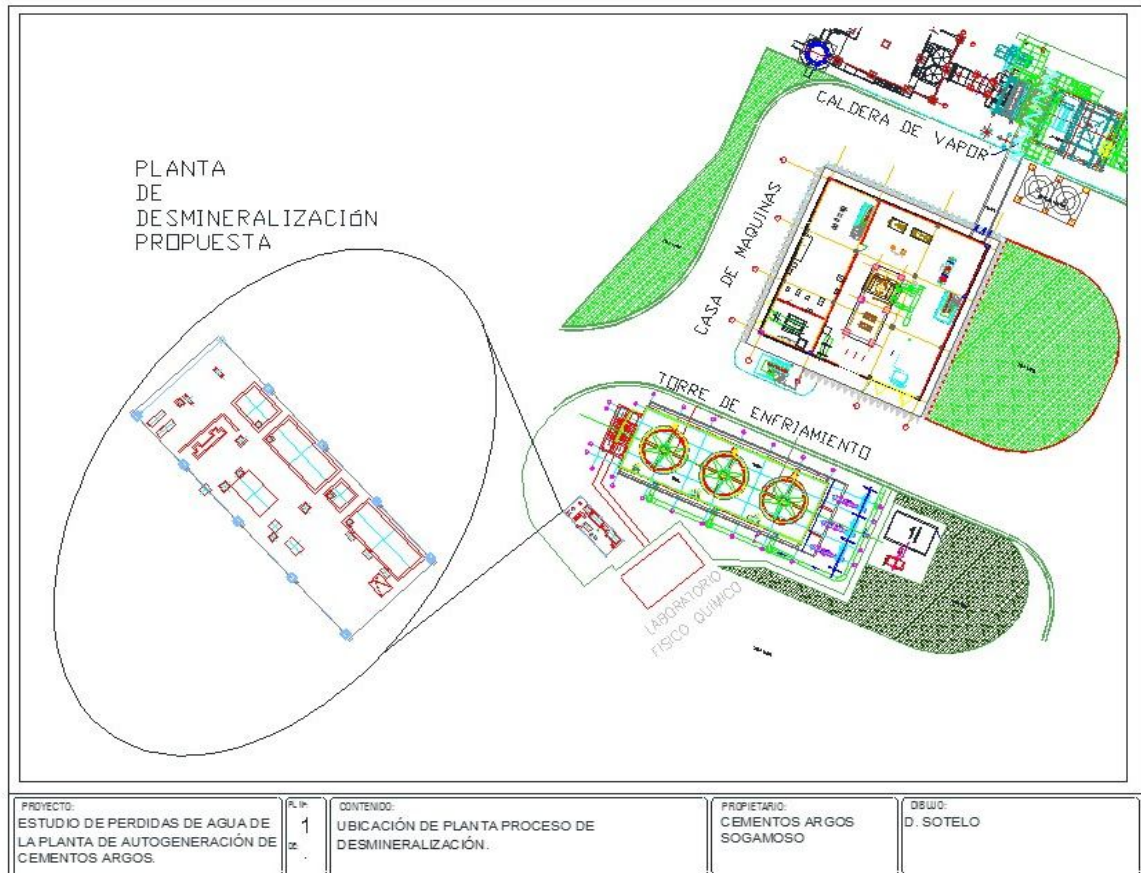
Figura 38. Diagrama de flujo de proceso de desmineralización.



Fuente: Sotelo, D

Para optimizar su operación, su ubicación debe ser paralela a la torre de enfriamiento como se muestra en la figura 39, con el fin de minimizar los costos de implementación.

Figura 39. Ubicación de la planta de desmineralización propuesta

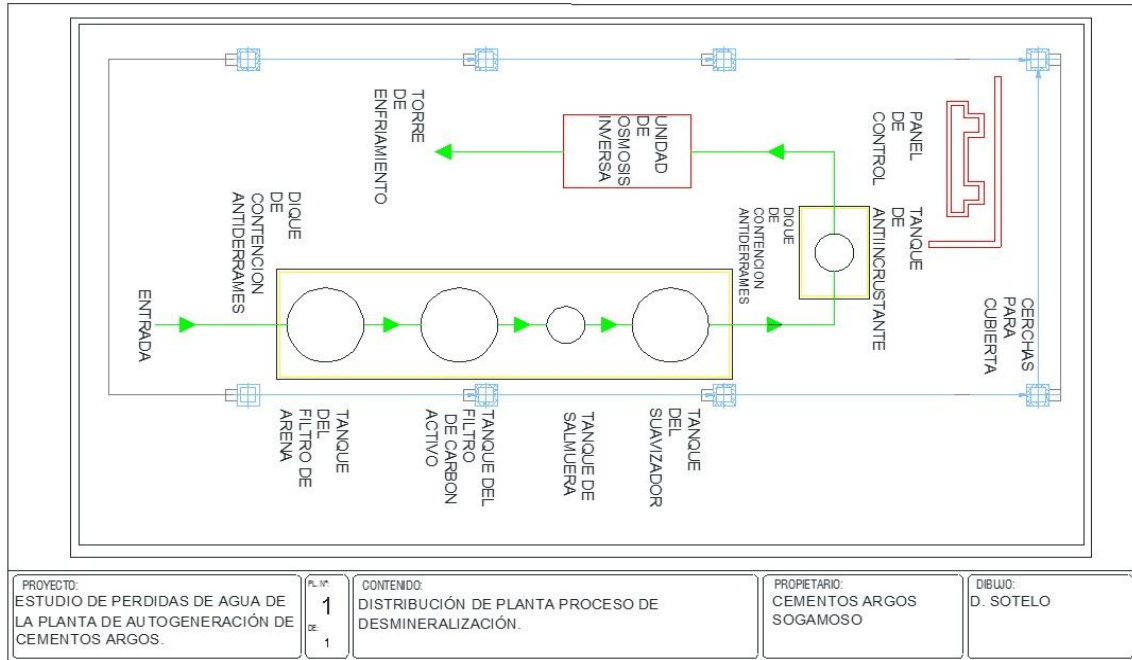


Fuente: Sotelo, D.

Esta ubicación se propone teniendo en cuenta las facilidades de montaje de los sistemas eléctricos, neumáticos e hidráulicos ya que se aprovecha la infraestructura de la torre de enfriamiento, adicionalmente se utilizarían las bombas y la tubería que actualmente llevan los vertimientos al río.

La distribución de la planta de desmineralización se muestra en la figura 40.

Figura 40. Distribución de planta de desmineralización



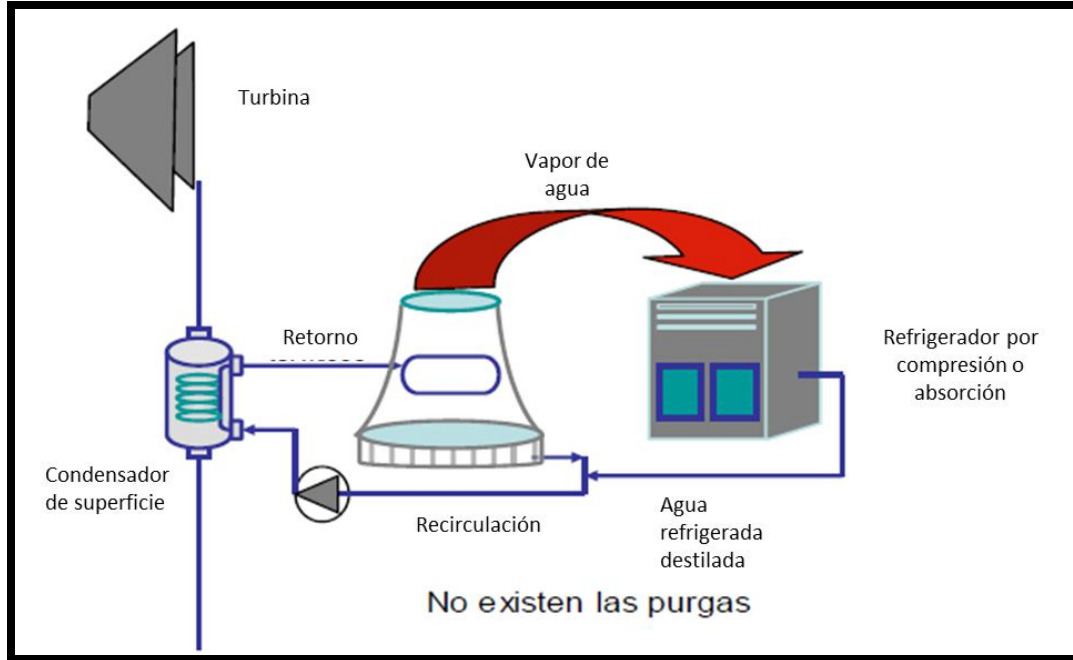
Fuente: Sotelo, D.

4.2 EVAPORACIÓN

Para reducir las pérdidas por evaporación se debe implementar un sistema, el cual condense toda el agua que sale en forma de vapor en el aire de la torre de enfriamiento bien sea por medio de la refrigeración por compresión o por absorción, dependiendo del estudio técnico y energético que se realice; y los recursos que se puedan reutilizar en el proceso de autogeneración. De este proceso de refrigeración se obtendrá agua destilada la cual será la alimentación a la piscina de la torre de enfriamiento.

En la figura 36 se explica cómo debe ser la configuración del proceso de refrigeración el cual toma el vapor de agua que se pierde en el proceso de enfriamiento de la torre, donde el objetivo principal es el de refrigerar este vapor para realizar la condensación del mismo y así el agua resultante de este proceso será recirculada a la piscina de la torre de enfriamiento.

Figura 41. Proceso de condensación del vapor de la torre de enfriamiento.



Fuente: AQUATER

Al aplicar esta tecnología se estaría reduciendo un 80% las pérdidas del proceso, y se obtendrían beneficios adicionales como el aumento de la eficiencia de la turbina ya que el agua estaría por debajo de los 15°C, lo cual mejoraría el intercambio de calor en el condensador de superficie y por ende se aumenta la eficiencia de la turbina, esto quiere decir que se va a disminuir la cantidad de vapor, para generar la misma cantidad de energía.

De igual forma las purgas de la torre de enfriamiento se disminuirían ya que el agua condensada o destilada tendrá una conductividad cercana a 0, y por lo tanto las sales solubles del agua se reducirán, el planteamiento de este proceso se detalla en el anexo H, el cual es diseñado por la empresa AQUATER, estos se basaron en las condiciones técnicas y ambientales del proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de los flujos de captación y vertimiento del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, basados en los datos consignados en los formatos de consumo de agua proceso autogeneración 2014 y vertimientos del proceso autogeneración 2014 ver anexo F.

Con estos datos se realizó un balance de masa en el anexo B y se graficaron para observar su comportamiento en la figura 30, con estos datos se cuantificaron los flujos de las pérdidas de agua, siendo la evaporación el medio en que mayor cantidad de agua se pierde, siendo aproximadamente un 80% del agua total que se capta; con estos datos se realizó un análisis estadístico en la tabla 1, para conocer su variabilidad, se tipificaron los datos y se ubicaron en una curva de distribución normal en las figuras 31, 32 y 33, donde se evidencio que la variabilidad de los datos no superan una desviación estándar, lo cual significa que al aplicar algunas de las alternativas para la reducción de pérdidas de agua en el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso será sostenible en el tiempo.

Se analizaron las variables de nivel del tanque de succión, y el nivel agua clarificada y conductividad en la figura 26, estos datos fueron tomados del anexo A, para así determinar cuál es la variable que incide de forma negativa el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, de este análisis se determinaron las relaciones que existen entre las tres variables donde el nivel de tanque de succión y nivel de clarificada se comportan de forma proporcional, pero contrario es el comportamiento de la conductividad la cual eleva su valor a medida que los valores de las otras dos variables desciende; posteriormente se aplicó una regresión lineal a cada una de las variables las cuales se observan en las figuras 27,28 y 29, donde se evidencio que las variables tiene una pendiente positiva, por lo tanto su comportamiento a lo largo del tiempo es ascendente, de los cual se puede concluir que la variable a intervenir en el proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, es la conductividad ya que su valor va seguir aumentando, poniendo en riesgo la operación del ciclo de enfriamiento, y por ende todos los equipos que se involucran en el mismo.

- Se enunciaron las diferentes alternativas de solución basados en la naturaleza del proceso en especial del ciclo de enfriamiento, la primera se fundamenta en las dos tecnologías de desmineralización donde se realizó una comparación de cada una de sus características en la tabla 2: el

intercambio iónico y la ósmosis inversa expuestas detalladamente en el marco teórico, donde se propone un sistema de desmineralización utilizando intercambiadores iónicos como se muestra en la figura 35 y de igual forma se realiza con la osmosis inversa en la figura 36.

Sin embargo se realizó una propuesta en la cual se fusionaran las dos tecnologías como se muestra en la figura 37, para así maximizar la eficiencia del sistema, aprovechando los beneficios de las dos tecnologías; se combinó un intercambiador iónico en ciclo sodio con resinas catiónicas, para retirar la dureza del agua, la cual es la principal causa de las incrustaciones en los equipos del ciclo de refrigeración y posteriormente se alimenta un sistema de osmosis inversa para retirar la conductividad del agua la cual es la principal causa de corrosión en los equipos del ciclo de refrigeración para así obtener finalmente un flujo de agua con las características físico químicas a apropiadas para su retorno al ciclo de enfriamiento en la piscina de la torre de enfriamiento.

La segunda alternativa propuesta se basó en reducir las pérdidas de agua por medio de la evaporación; este vapor es el resultado del enfriamiento en la torre diseñada para tal fin, donde se debe refrigerar todo el vapor que sale de las chimeneas de la torre de enfriamiento para condensarlo, este proceso se puede realizar por medio de los sistemas enunciados en el marco teórico, enfriamiento por compresión o absorción. La selección de uno u otro sistema depende estrictamente de los costos de implementación, ya que los dos sistemas pueden cumplir con el objetivo de la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, la configuración de sistema básico esta descrito en la figura 41.

- Al conocer las bases teóricas para la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos argos planta Sogamoso, por consecuencia de los vertimientos, se propuso un proceso de desmineralización el cual esta descrito en el diagrama de operaciones de la figura 37, y a su vez se desarrolla un diagrama de flujo en la figura 38, en el cual se describe el cómo se debería operar este proceso, para garantizar la calidad del agua desmineralizada; de igual forma se propuso la ubicación donde debería ir ubicado el proceso de desmineralización, esta ubicación se muestra en la figura 39 y va en marcada en la optimización y disminución de costo de montaje, ya que allí se cuenta con puntos para la conexión eléctrica e hidráulica aprovechando la línea de bombeo de los vertimientos y la cercanía a la torre de enfriamiento, la distribución de planta mostrada en la figura 40, sería la propuesta planteada para el proceso de desmineralización para un flujo mínimo de 10 l/s, donde el vertimiento sería el 40 % de este valor y el resto sería agua de reposición a la torre, esto con el fin de mejorar las condiciones de operación de la torre de enfriamiento.

- Al conocer las bases teóricas para la reducción de pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos argos planta Sogamoso, por consecuencia de la evaporación de agua a causa del proceso de enfriamiento, se realizó el contacto con la empresa AQUATER, la cual propuso un sistema de refrigeración descrito en el anexo H, donde el objetivo es el de condensar todo el vapor que asciende de la torre de enfriamiento y direccionarlo hacia un sistema de enfriamiento, el cual condensa el vapor donde se obtendrá como producto un agua destilada, la cual tendrá características ideales para el ciclo de refrigeración descrito en la figura 5. El beneficio adicional es que este sistema condensa el 80% de las pérdidas de agua y a su vez se eliminan las purgas de la torre de enfriamiento debido a la calidad de agua que se estará retornando a la torre de enfriamiento, convirtiéndose en un ciclo cerrado, disminuyendo de esta forma el flujo de captación del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso

6. RECOMENDACIONES

- En el momento en que se realiza el análisis de los datos del anexo A se evidencio que no se realiza ningún tratamiento estadístico de los datos del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, ya que el formato simplemente es el instrumento que se utiliza para realizar un seguimiento en este caso al flujo de captación y vertimiento, por lo tanto es importante aplicar un método de análisis, para así garantizar el control de las variables y se pueda detectar de manera rápida la desviación de alguna variable; de igual forma los formatos consumo agua proceso autogeneración 2014 y vertimiento proceso autogeneración 2014, no se encuentran en marcados dentro del control de documentos de un sistema de gestión de la calidad, es decir no tienen una versión, fecha de aprobación, etc., por consiguiente estos formatos deben estar controlados según las disposiciones del sistema de gestión integral de cementos ARGOS.
- Al realizar el estudio técnico y económico para la implementación del sistema de desmineralización de agua, debe tener en cuenta que entre mayor sea el flujo de agua desmineralizada, mayor son los beneficios en la conservación material del ciclo de enfriamiento, ya que en la figura 26 se puede observar que los valores de conductividad del agua cruda llega a valores muy altos, los cuales producen en el ciclo de enfriamiento incrustaciones y/o corrosión, especialmente en el condensador de superficie el cual es fundamental en el proceso rankine como se muestra en la figura 4, si llegado el caso el agua de enfriamiento afecta este equipo se verá comprometida la generación de energía hasta el punto de parar el proceso por esta causa, por tales razones es fundamental que se tenga en cuenta este criterio al momento de seleccionar la capacidad del proceso de desmineralización de vertimientos.
- El costo de la propuesta de implementación del sistema de recuperación de vapor de la torre de enfriamiento realizado por AQUATER, el cual explicado detalladamente en el anexo H es muy alto, sin embargo es la solución más eficiente y definitiva a las pérdidas de agua del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso, ya que este sistema produce agua destilada la cual está libre de sales, por lo tanto se evitaría la formación de incrustaciones y/o corrosión en el ciclo de enfriamiento ya que la conductividad de este condensado estaría cercano a cero; por tales motivos es indispensable tener dentro de las mejoras a largo plazo del proceso, la implementación de este tipo de sistemas, porque aparte de proteger los equipos del ciclo de enfriamiento se estaría reduciendo la

captación de agua del río Chicamocha y se disminuiría los costos en clarificación de agua cruda para la torre de enfriamiento, aportando así a la conservación de las fuentes hídricas y garantizando la operación del proceso de autogeneración de cementos ARGOS planta Sogamoso en el momento en que por causa de algún fenómeno meteorológico, no se pueda realizar la captación de agua.

7. REFERENCIAS

- ACF SDI (2014). “*Purificando el agua del mundo*” *Guía farmacéutica para agua de alta pureza*. Recuperado de <http://grupoacf.com.mx/guiapurific.pdf>.
- ACF (2014) *Sistemas de desmineralización integral suavización de agua portátil*. Tomado de www.acfsdi.mx/SAP_Presentacion.pptx
- Anónimo. (1998) *Tratamiento de agua industrial*. Tomado de <http://ebiblioteca.org/?/ver/70967>.
- Aquaer. (2009). *Sistema de refrigeración con recuperación del agua perdida*. Tomado de www.aquaer.com.
- Araucariasur. (2014). *Clasificación y partes principales de caldera*. Tomado de https://www.araucariasur.cl/fileadmin/archivos/administrador/Bases/Material_Estudio/Manual_Operadores_de_Caldera.pdf
- Areal, R y Tomas, J. (1974). *Chemestry ion Exchange*. España:Reverte.
- Ashrae. (1995). *Application Guide for Absorption Cooling/Refrigeration using recovered heat*. Recuperado de <http://www.cientificosaficionados.com/energia%20solar/aire%20acondicionado.pdf>.
- Ashrae. (1997). *Fundamentals Handbook*. Tomado de <http://www.cientificosaficionados.com/energia%20solar/aire%20acondicionado.pdf>.
- Berg, C. (2009). *Psicometría y la carta psicométrica*. Recuperado de <http://www.colmaccoil.com/Literature/TechnicalBulletins/BacktoBasicsPsychrometricsAndThePsychrometricChartSpanish.pdf>
- Bonilla, E. y Rodríguez, P. (2000). *Más allá del dilema de los Métodos. La Investigación en ciencias sociales*. Bogotá: Norma.
- Briones, G. (1997). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales*. ICFES, Especialización en teoría, métodos y técnicas de investigación social. Módulo 3. Bogotá: Corcas.

- Cano, J (2002). *Refrigeración por absorción. Interés energético e impacto ambiental. Energía*. Recuperado de <http://www.cientificosaficionados.com/energia%20solar/aire%20acondicionado.pdf>.
- Carias, A. (2010). *Análisis Termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, ingenio Tuluá*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Cartwright, P. (2013). *Tratamiento y reutilización de descargas de torres de enfriamiento*. Recuperado de http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/November_2013_Cartwright.pdf.
- Castro, L y Valdes H. (2009). *Detección de pérdidas en tuberías de agua*. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052009000300011&script=sci_arttext.
- Ceroaverias (2014). *Punto de partida del TPM medir la productividad real de los equipo*. Recuperado de <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/articulospublicados/PDF/perdidas%20para%20web.pdf>
- Contreras, A. (2013). *Investigación torres de enfriamiento*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/AnngeeLiToO/investigación-de-torres-de-enfriamiento>.
- Criollo, R. (2002). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. Monterrey, México: Mc Graw Hill.
- Daub, W y Seese, W. (2005). *Química*. Octava edición. United state: Pearson.
- Departamento de tecnoloxia. (2014). *Máquinas térmicas. Ciclos*. Recuperado de http://tecnowoa.wikispaces.com/file/view/CICLOS_M%C3%81QUINAS_+T%C3%89RMICAS.pdf
- DEDINI (2010). *Manual de operación caldera acuatubular ARGOS, planta Sogamoso*.
- Deltech (2014). *Osmosis inversa*. Recuperado de <http://osmosisinversa.mx>.
- Definición ABC (2014). *Refrigeración*. Recuperado de <http://www.definicionabc.com/tecnologia/refrigeracion.php#ixzz3G204b37J>.
- Edospina. (2009). *Manual de operación y mantenimiento torres de enfriamiento TMS – 3c - 28ft*. Bogotá, Colombia.

- Edospina. (2010). *Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua industrial*. Bogotá, Colombia.
- Escolastico, C. Cabildo, M. Claramunt, M y Claramunt, T. (2013). *Introducción organismos poblaciones*. Universidad de educación a distancia. Madrid.
- Hidalgo. F y Guaman M. (2006). *Diseño y construcción de un des mineralizador de lecho múltiple*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Janania, C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos. Ingeniería de métodos*. México: Limusa.
- Jenkins, D (1999). *Química del agua*. Recuperado de <http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/quimica/modulos/Libros/Introduccion.PDF>.
- Jiménez. (2012). *Balance másico y energético en problemáticas ambientales*. Recuperado de <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358081/ContenidoLinea/index.html>
- Kucera, J. (2010). *Reverse osmosis desing, processes, and aplicaciones for engineers*. Scrivener: United States.
- Lenntech. (2014). *Glosario de agua*. Recuperado de <http://www.lenntech.es/glosario-agua.htm#I>.
- López, F. (2014). *Abastecimiento de aguas*. Recuperado de http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod_resource/content/1/Tema_02_CAPT_AGUAS_SUP.pdf.
- Martinez, M. (2009). *Sistema de recuperado de condensados de una línea de decapado de bobinas laminadas en caliente*. Universidad de Valencia. Valencia, España.
- MAVAINSA (2014). *Turbinas de vapor*. Recuperado de http://www.mavainsa.com/documentos/8_turbinas_de_vapor.pdf
- Mendoza, J. Quispe, S y Vicalpoma, M. (2007). *Torres de enfriamiento*. Universidad Nacional Del Callao, Bellavista Callao.
- Meruane, C & Garreaud, R. (2006). *Determinación de humedad en la atmosfera*. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Ministerio de agricultura & salud. (1984). *Decreto 1594 de 1984 art. 6*. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617#>.
- Nalco. (2000). *Preguntas y respuestas Osmosis Inversa*. United State: NALCO Company.
- Nalco. (2009). *Reverse Osmosis PermaCare*. United State: NALCO Company.

- Nievel, B & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfaomega.
- Palau, M y Sanchez, J. (2009). *Guía de desalación*. Ministerio de sanidad y política social. España: Centro de publicaciones.
- Perez, F y Urrea M. (2014). *Cuagulación y floculación*. Universidad politécnica de Cartagena. Recuperado de http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf.
- Perry, J. (1968). *Manual del ingeniero químico*. Tomado de <http://ebiblioteca.org/?/ver/64279>.
- Restrepo, J. (2011). *Diseño operacional de una torre de enfriamiento adiabática de agua de tiro mecánico inducido contracorriente a escala de laboratorio*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Rigola, M (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo S, A.
- Rocha, E. (2010). *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. Recuperado de http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/ingenieria-tratamiento-acondicionamiento-aguas-rocha-castro/id/54465880.html.
- Rodríguez. (2003). *Introducción a la termodinámica*. Universidad Tecnológica Nacional. México.
- Siemens. (2008). *Proyecto cementos ARGOS turbogenerador de vapor*. Brasil.
- Sepúlveda, N. (2007). *Medición del trabajo*. Bogotá: Universidad nacional abierta y a distancia.
- Thomas, S. (2010). *Modulo Diseño de plantas industriales*. Universidad abierta y a distancia. Pamplona, Colombia.
- UDLAP (2014) *Dureza del agua*. Tomado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf.
- UTO. (2007). *Conceptos generales de refrigeración*. MAVDT. Bogota, Colombia.
- Vallhonrat, J & Corominas, A. (1991). *Localización, distribución en planta y mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo.

ANEXOS

Anexo A. Comportamiento de tanques de agua del proceso de autogeneración

FECHA	NIVEL TANQUE DE SUCCIÓN (mm)	NIVEL AGUA CLARIFICADA (%)	CONDUCTIVIDAD μ S/CM
ENE-14	1036	85	986
FEB-14	1103	82	1023
MAR-14	986	78	1056
08-ABR-14	926	93	1041
09-ABR-14	886	83	1456
10-ABR-14	770	72	1698
11-ABR-14	720	57	1987
12-ABR-14	636	41	1894
13-ABR-14	605	18	2015
14-ABR-14	732	12	1934
15-ABR-14	902	31	1786
16-ABR-14	1013	39	1834
17-ABR-14	1283	37	1786
18-ABR-14	1162	31	1039
19-ABR-14	1214	39	1175
20-ABR-14	1200	45,2	1236
MAY-14	1035	76,3	1124
13-JUN-14	919	97	1116
14-JUN-14	944	92	1569
15-JUN-14	924	93	1786
16-JUN-14	837	90	2015
17-JUN-14	657	76	2315
18-JUN-14	719	75	2350
19-JUN-14	963	77	1524
20-JUN-14	1314	83	964
21-JUN-14	1269	94	823

Fuente. Datos proceso autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso

Anexo B. Datos de consumo y pérdidas del proceso de autogeneración cementos ARGOS planta Sogamoso 2014

	PERDIDAS							
	CONSUMO		VERTIMIENTO (l/s)			Evaporación		
	l/s	(M ³)	l/s	(M ³)	%	l/s	(M ³)	%
ENERO	14,6	37843	3,7	9590	25	10,9	28253	75
FEBRERO	12,4	29998	3,6	8709	29	8,8	21289	71
MARZO	9,9	26516	2,1	5625	21	7,8	20892	79
ABRIL	14,1	36547	2,4	6221	17	11,7	30326	83
MAYO	8,9	23838	2,8	7500	31	6,1	16338	69
JUNIO	10,5	27216	1,8	4666	17	8,7	22550	83
JULIO	14,2	36806	2,9	7517	20	11,3	29290	80

Fuente. Datos proceso autogeneración cementos ARGOS, planta Sogamoso

Anexo C. Ubicación en curva de distribución normal

Mes	PORCENTAJES DE ÁREA BAJO LA CURVA		
ENERO	30,78	32,12	28,23
FEBRERO	15,91	29,39	11,41
MARZO	7,93	7,54	10,64
ABRIL	29,39	11,79	31,06
MAYO	3,98	22,24	2,79
JUNIO	9,48	3,19	14,8
JULIO	29,67	22,24	29,96

Fuente. Sotelo, D

NALCO® PermaTreat® PC-191 *Antiincrustante de Membranas*



Boletín Técnico del Producto

BENEFICIOS DEL PRODUCTO

- Antincrustante altamente efectivo en un amplio espectro de aguas.
- Minimiza la incrustación y reduce la frecuencia de la limpieza de membranas.
- Reducirá, y generalmente reemplazará la necesidad de adición de ácidos.
- El régimen bajo de dosificación proporciona una aplicación efectiva en costos.
- Compatible con todos los tipos de membranas.
- Aplicación basada en 20 años de experiencia práctica.
- Secuestrante efectivo de hierro.
- Más estable y más efectivo que el hexameta-fosfato de sodio (SHMP).
- Permite que los sistemas funcionen con mejores regímenes de recuperación.
- Cartera extensa de datos toxicológicos y ambientales disponible
- Este producto ha recibido certificación NSF/Internacional bajo ANSI/NSF Standard 60 en la categoría de antincrustante para ósmosis inversa.

DESCRIPCIÓN GENERAL

PermaTreat 191 es uno de los principales antincrustantes usado por la industria de membranas. Durante 20 años, **PermaTreat 191** ha encontrado su aplicación como antincrustante y antifouling en sistemas de membranas usando una amplia selección de aguas de alimentación residuales, de alta salinidad, de proceso y de efluentes.

VENTAJAS

PermaTreat 191 se usó en un sistema de membranas por primera vez en 1980. Desde entonces, se ha convertido en el método preferido de control antincrustantes en miles de instalaciones en todo el mundo, incluyendo algunas de las plantas de agua potable más

grandes que se hayan construido. Es recomendado por la mayoría de los fabricantes líder de membranas del mundo del mundo, que lo consideran como un inhibidor de incrustantes altamente efectivo en costos y su producto preferido.

PermaTreat 191 reduce el riesgo de las incrustaciones y elimina el uso de ácidos peligrosos, al mismo tiempo de mantener una operación eficiente de la planta con índices de conversión óptimos. Es invariablemente una alternativa más económica para la protección de membranas que el control de pH o el suavizado con intercambio de iones.

Se han estudiado en detalle los procesos de Inhibiciones de Incrustaciones. Con este trabajo se ha determinado cual es el mecanismo clave en la prevención de la formación de incrustaciones en los sistemas de membrana.

PermaTreat 191 es un agente se super-umbral capaz de estabilizar una amplia gama de soluciones de sal supersaturadas, que genera los siguientes beneficios:

- Efectividad en costos mejorada.
- Se requiere menos agua de alimentación.
- Menos concentrado para desecho.
- Menor uso de químicos.

DOSIS Y ALIMENTACIÓN

PermaTreat 191 es un excelente inhibidor para una amplia gama de especies incrustantes. Aunque los incrustantes minoritarios como el fluoruro de calcio y el sulfato de estroncio deben considerarse al diseñar un sistema, son virtualmente desconocidos en la práctica.

Nalco Company • Nalco Center • Naperville, IL 60563-1199 USA
Nalco Argentina • Buenos Aires, Argentina • 54 11 51852588
Nalco Brazil • São Paulo, Brazil • 55 11 50495503
Nalco Chile • Santiago, Chile • 56 2 9522033
Nalco de Colombia S.A.S. • Bogotá, Colombia • 57 1 622 1103
Nalco de Venezuela • Caracas, Venezuela • 58 2 122594222

Anexo E. Solicitud de licencias de captación y vertimiento

FORMULARIO ÚNICO NACIONAL DE SOLICITUD DE PERMISO DE VERTIMIENTOS Base legal: Ley 99 de 1993, Decreto 1541 DE 1978, Decreto 1594 de 1984

DATOS DEL SOLICITANTE			
1. Persona Natural	<input type="checkbox"/>	Persona Jurídica	<input checked="" type="checkbox"/>
		Pública	<input type="checkbox"/>
		Privada	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Nombre o Razón Social: <u>CEMENTOS ARGOS S.A.</u>			
C.C.	<input type="checkbox"/>	NIT	<input checked="" type="checkbox"/>
No.	<u>890100251-0</u> de <u>BARRANQUILLA</u>		
Dirección:	<u>CALLE 7D # 43ª-99</u> Ciudad: <u>MEDELLÍN</u>		
Teléfono (s):	<u>(574) 319 87 00</u> Fax: <u>(574) 268 44 22 EXT.4524</u> E-mail: <u>mecheverri@argos.com.co</u>		
Representante Legal: <u>MARIA ISABEL ECHEVERRI CARVAJAL</u>			
C.C. No.	<u>43 626.497</u> de <u>MEDELLÍN</u>		
Dirección:	<u>CALLE 7D # 43ª-99</u> Ciudad: <u>MEDELLÍN</u>		
Teléfono (s):	<u>(574) 319 87 00</u> Fax: <u>(574) 268 44 22 EXT.4524</u> E-mail: <u>mecheverri@argos.com.co</u>		
3. Apoderado (si tiene): <u>NO APLICA</u> T.P.: <u>NO APLICA</u>			
C.C. No.	<u>NO APLICA</u> de <u>NO APLICA</u>		
Dirección:	<u>NO APLICA</u> Ciudad: <u>NO APLICA</u>		
Teléfono (s):	<u>NO APLICA</u> Fax: <u>NO APLICA</u> E-mail: <u>NO APLICA</u>		
4. Calidad en que actúa: Propietario <input type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/> Poseedor <input type="checkbox"/> Otro <input checked="" type="checkbox"/> Cual? <u>REPRESENTANTE LEGAL</u>			
INFORMACIÓN GENERAL			
1. Nombre del predio: <u>PLANTA CPR</u>		Área (Ha): <u>27</u>	
2. Dirección del predio: <u>Km 6 vía Sogamoso-Corrales</u>		Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/>	
3. Departamento: <u>BOYACÁ</u>		Municipio: <u>SOGAMOSO</u>	
Vereda y/o Corregimiento: <u>SAN JOSÉ-PORVENIR</u>			
4. Actividad: <u>INDUSTRIAL</u>			
5. Requiere Servidumbre para el aprovechamiento o para la construcción de las obras SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
6. Cédula catastral No. <u>0 0 0 4 0 0 0 1 0 1 0 5 2 2 4</u>			
7. Costo del proyecto: <u>\$32.906.574.567</u> Valor en letras: <u>Treinta y dos mil novecientos seis millones quinientos setenta y cuatro mil quinientos sesenta y siete pesos</u>			
INFORMACIÓN TIPO DE VERTIMIENTO			
1. Residual doméstico <input type="checkbox"/>		Residual Industrial <input checked="" type="checkbox"/>	
Caudal (l/s): <u>5,7</u>		Tiempo de descarga (h/día): <u>20,9</u>	
Frecuencia (día/mes): <u>30</u>		Municipal / ESP <input type="checkbox"/>	
2. Fuente de abastecimiento: <u>RÍO CHICAMOCHA</u>		Cuenca: <u>CHICAMOCHA</u>	
3. Nombre fuente Receptora <u>RÍO CHICAMOCHA</u>		Cuenca: <u>CHICAMOCHA</u>	
4. Sistema de Tratamiento y estado final previsto para el vertimiento <u>Neutralización filtración</u>			
Sistema de aforo: <u>Canaleta</u>			
5. Localización de punto(s) de descarga: Coordenadas: X <u>1.131.730</u> Y <u>1.129.425</u>			
X <u> </u> Y <u> </u>		X <u> </u> Y <u> </u>	
6. Forma y caudal de la descarga (l/s) <u>5,7</u> Flujo continuo <input type="checkbox"/> Intermitente <input checked="" type="checkbox"/>			
CARACTERIZACIÓN Y USOS DE LA FUENTE RECEPTORA			
PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	
Sólidos suspendidos	446	mg/l	
DBO5	16	mg/l	
DQO	40	mg/l	
Caudal	7093	l/s	
CARACTERIZACIÓN VERTIMIENTO			
PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	
Sólidos suspendidos	N.A.	mg/l	
DBO5	N.A.	mg/l	
DQO	N.A.	mg/l	
Caudal	N.A.	l/s	
DOCUMENTACIÓN QUE DEBE ANEXAR A LA SOLICITUD			
FIRMA DEL SOLICITANTE O APODERADO DEBIDAMENTE CONSTITUIDO			
ORIGINAL FIRMADO		FECHA: _____	

FORMULARIO ÚNICO NACIONAL DE SOLICITUD DE CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES
Base legal: Ley 99 de 1993, Decreto 1541 DE 1978

DATOS DEL SOLICITANTE	
1. Persona Natural <input type="checkbox"/>	
Persona Jurídica <input checked="" type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada <input checked="" type="checkbox"/>	
2. Nombre o Razón Social: <u>CEMENTOS ARGOS S.A.</u>	
C.C. <input type="checkbox"/> NIT <input checked="" type="checkbox"/> No. <u>890100251-0</u> de <u>BARRANQUILLA</u>	
Representante Legal: <u>MARIA ISABEL ECHEVERRI CARVAJAL</u>	
C.C. No. <u>43'626.497</u> de <u>MEDELLÍN</u>	
Dirección: <u>CALLE 7D # 43ª-99</u> Ciudad: <u>MEDELLÍN</u>	
Teléfono (s): <u>(574) 319 87 00</u> Fax: <u>(574) 268 44 22 EXT.4027</u> E-mail: <u>mecheverri@argos.com.co</u>	
3. Apoderado (si tiene): <u>NO APLICA</u> T.P.: <u>NO APLICA</u>	
C.C. No. <u>NO APLICA</u> de <u>NO APLICA</u>	
Dirección: <u>NO APLICA</u> Ciudad: <u>NO APLICA</u>	
4. Calidad en que actúa: Propietario <input type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/> Poseedor <input type="checkbox"/> Otro <input checked="" type="checkbox"/> Cual? <u>REPRESENTANTE LEGAL</u>	
INFORMACIÓN GENERAL	
1. Nombre del predio: <u>PLANTA CPR</u> Área (Ha): <u>27</u>	
2. Dirección del predio: <u>Km 6 vía Sogamoso-Corrales</u> Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/>	
3. Departamento: <u>BOYACÁ</u> Municipio: <u>SOGAMOSO</u>	
Vereda y/o Corregimiento: <u>SAN JOSÉ-PORVENIR</u>	
4. Actividad: <u>INDUSTRIAL</u>	
5. Requiere Servidumbre para el aprovechamiento o para la construcción de las obras SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
6. Cédula catastral No. <u>0 0 0 4 0 0 0 1 0 1 0 5 2 2 4</u>	
7. Costo del proyecto: <u>\$32.906.574.567</u> Valor en letras: <u>Treinta y dos mil novecientos seis millones quinientos setenta y cuatro mil quinientos sesenta y siete pesos</u>	
INFORMACIÓN FUENTE DE ABASTECIMIENTO	
1. Tipo de fuente de abastecimiento Río <input checked="" type="checkbox"/> Quebrada <input type="checkbox"/> Lago <input type="checkbox"/> Laguna <input type="checkbox"/>	
2. Nombre de la fuente <u>RÍO CHICAMOCHA</u> Cuenca <u>CHICAMOCHA</u>	
3. Sitio propuesto para la captación: <u>margen derecha del río</u> Coordenada: X <u>1.131.521</u> Y <u>1.129.261</u>	
DEMANDA / USO	
1. Doméstico <input type="checkbox"/> No. de personas permanentes: _____ Transitorias: _____	
2. Pecuario <input type="checkbox"/> Animales: _____ Número: _____	
3. Riego <input type="checkbox"/> Cultivo: _____ Área (Ha): _____	
Tipo de Riego: Goteo <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Gravedad <input type="checkbox"/> Microaspersión <input type="checkbox"/>	
4. Industrial <input type="checkbox"/> Clase de Industria: _____ Demanda (l/s): _____	
5. Generación de Energía <input checked="" type="checkbox"/> Cuál? <u>TÉRMICA</u>	
6. Abastecimiento <input type="checkbox"/> Acueducto: Veredal <input type="checkbox"/> Vereda: _____ No. Usuarios: _____	
Municipal <input type="checkbox"/> Municipio: _____ ESP: _____ No. Usuarios: _____	
7. Otro <input type="checkbox"/> Cuál? _____	
8. Caudal solicitado (l/s): <u>30</u>	
9. Término por el cual se solicita la concesión: <u>VIDA ÚTIL DEL PROYECTO</u>	
DOCUMENTACIÓN QUE DEBE ANEXAR A LA SOLICITUD	
1. Documentos que acrediten la personería jurídica del solicitante Sociedades: Certificado de existencia y representación legal (expedición no superior a 3 meses) Juntas de Acción Comunal: Certificado de existencia y representación legal o del documento que haga sus veces, expedido con una antelación no superior a 3 meses.	
2. Poder debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado. Propietario del inmueble: Certificado de tradición y libertad (expedición no superior a 3 meses) Tenedor: Prueba adecuada que lo acredite como tal y autorización del propietario o poseedor. Poseedor: Prueba adecuada que lo acredite como tal.	
3. Censo de usuarios para acueductos veredales y municipales.	
4. Información sobre los sistemas para la captación, derivación, conducción, restitución de sobrantes, distribución y drenaje, y sobre las inversiones, cuantía de las mismas y término en el cual se van a realizar.	
5. Información prevista en el capítulo IV, título III del Decreto 1541 de 1978, para concesiones con características especiales	
FIRMA DEL SOLICITANTE O APODERADO DEBIDAMENTE CONSTITUIDO	
ORIGINAL FIRMADO	FECHA: _____

Anexo F. Formatos de captación y vertimiento del proceso de autogeneración.

Consumo agua proceso autogeneración 2014						
Fecha	Hora	Medidor (I) (m ³)	Medidor (F) (m ³)	Consumido (m ³)	Consumo promedio día (l/s)	Consumo Mensual (l/s)
02-ene	0:00	32687	35090	2403	27,8	14,6
03-ene	0:00	35090	36487	1397	16,2	
07-ene	0:00	36487	41037	4550	52,7	
08-ene	0:00	41037	42358	1321	15,3	
09-ene	0:00	42358	43555	1197	13,9	
10-ene	0:00	43555	45046	1491	17,3	
11-ene	0:00	45046	46320	1274	14,7	
13-ene	0:00	46320	48769	2449	28,3	
14-ene	0:00	48769	49651	882	10,2	
15-ene	0:00	49651	50992	1341	15,5	
16-ene	0:00	50992	52094	1102	12,8	
17-ene	0:00	52094	53458	1364	15,8	
18-ene	0:00	53458	54770	1312	15,2	
20-ene	0:00	54770	57223	2453	28,4	
21-ene	0:00	57223	58149	926	10,7	
22-ene	0:00	58149	59235	1086	12,6	
23-ene	0:00	59235	60594	1359	15,7	
24-ene	0:00	60594	62250	1656	19,2	
25-ene	0:00	62250	63400	1150	13,3	
27-ene	0:00	63400	65796	2396	27,7	
28-ene	0:00	65796	66851	1055	12,2	
29-ene	0:00	66851	68134	1283	14,8	
30-ene	0:00	68134	69270	1136	13,1	
31-ene	0:00	69270	70552	1282	14,8	

Vertimiento proceso autogeneracion 2014

Fecha	Hora	Medidor (I) (m ³)	Medidor (F) (m ³)	Consumido (m ³)	Consumo promedio dia (l/s)	Consumo Mensual (l/s)
02-ene	0:00	5388	5887	499	5,8	3,7
03-ene	0:00	5887	6235	348	4,0	
07-ene	0:00	6235	7251	1016	11,8	
08-ene	0:00	7251	7563	312	3,6	
09-ene	0:00	7563	7847	284	3,3	
10-ene	0:00	7847	8121	274	3,2	
11-ene	0:00	8121	8389	268	3,1	
13-ene	0:00	8389	8829	440	5,1	
14-ene	0:00	8829	9108	279	3,2	
15-ene	0:00	9108	9327	219	2,5	
16-ene	0:00	9327	9610	283	3,3	
17-ene	0:00	9610	9834	224	2,6	
18-ene	0:00	9834	10112	278	3,2	
20-ene	0:00	10112	10635	523	6,1	
21-ene	0:00	10635	10894	259	3,0	
22-ene	0:00	10894	11083	189	2,2	
23-ene	0:00	11083	11347	264	3,1	
24-ene	0:00	11347	11621	274	3,2	
25-ene	0:00	11621	11825	204	2,4	
27-ene	0:00	11825	12282	457	5,3	
28-ene	0:00	12282	12546	264	3,1	
29-ene	0:00	12546	12742	196	2,3	
30-ene	0:00	12742	12935	193	2,2	
31-ene	0:00	12935	13108	173	2,0	

SM SERVIMETERS S.A.
 LABORATORIO DE CALIBRACION Y METROLOGIA S.A.
 Fecha de Calibración: 2014 07 25 ESTAMPILLA
 ZAAA MM DD 233
 CALIBRADO
 L10032008
 Figura 10: www.servimeters.com.co

SM[®] SERVIMETERS S.A.
 A LA MEDIDA DE COLOMBIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No. SM.LMAM.00274.2014

INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE				
CLIENTE CEMENTOS ARGOS S.A (SOGAMOSO)	NIT 890.100.251-0	DIRECCIÓN Km 6 via Sogamoso Corrales	CIUDAD Sogamoso Boyaca	TELÉFONO 3178900

DATOS DE LA CALIBRACIÓN		
Método de Medición El método empleado es la comparación directa del volumen indicado por el medidor con el volumen de referencia patrón.	Trazabilidad El patrón utilizado es un Medidor Ultrasónico con numero de serie 3391 certificado de calibración expedido por Servimeters S.A. Trazabilidad a Patrones Nacionales de la División de Metrología de la Superintendencia de Industria y Comercio.	Incertidumbre La incertidumbre expandida (Uexp) reportada, se ha determinado multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura k, para un nivel de confianza del 95,45%

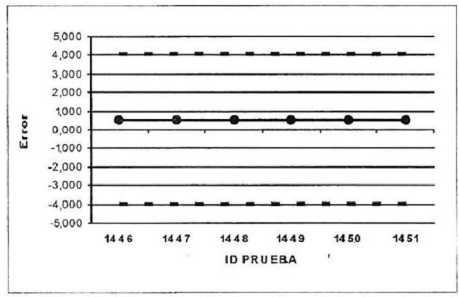
FECHA RECEPCIÓN	2014-07-25	FECHA DE CALIBRACIÓN	2014-07-25	FECHA DE EMISIÓN	2014-07-28
-----------------	------------	----------------------	------------	------------------	------------

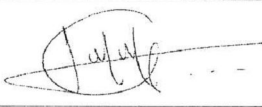

SITIO DE MEDICION	Registro No.	Declaración
PLANTA ARGOS SOGAMOSO		Este Laboratorio es supervisado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para asegurar el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de referencia del laboratorio con los correspondientes Patrones Nacionales e Internacionales. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite. Los resultados contenidos en el siguiente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

CONDICIONES DE PRUEBA	CONVENIONES	CERTIFICADO VÁLIDO PARA:	ESTAMPILLA DE CALIBRACIÓN INSTALADA No.:
TEMPERATURA DEL LIQUIDO: 20 °C LIQUIDO MEDIDO: Agua	C: CONFORME NC: NO CONFORME NA: NO APTO RESULTADO FINAL DE CALIBRACIÓN: CONFORME	Un (1) medidor	233

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO					
EQUIPO MEDIDOR DE FLUJO	MARCA TURBINEMETER TORK	MODELO TDSS.100.100.F.H.10.S.S.N.N	CLASE/EXACTITUD 1%		
SERIE L10032008	IDENTIFICACION CAPTACION RIO CHICAMOCHA	CAUDAL Qn (m3/h) 200 m3/h	DIAMETRO EQUIPO 100 mm	DIAMETRO TUBERIA 100 mm	MATERIAL TUBERIA Acero carbon

RESULTADOS FINALES									
Caudal Calculado (L/h)	Volumen Patron(m3)	Volumen Equipo(m3)	Factor de Medida	Repetibilidad FM (%)	Incertidumbre (Uexp(%))	Error (%)	Tolerancia +/- (%)	Resultado la Prueba	Variación Caudal (%)
57.136,501	4,76929	4,79333	0,9950	0,000	0,183	0,504	4,000	C	0,142



FIRMAS AUTORIZADAS	
CALIBRADO POR  WILSON FABIAN GUZMAN SUAREZ Técnico de Laboratorio	APROBADO POR:  DANIEL FELIPE ROSAS Jefe de Laboratorio

El patrón utilizado para la calibración emplea los factores de corrección calculados para este equipo.

Anexo H. Propuesta para minimizar las pérdidas de agua por evaporación.



SISTEMA AQUAER DE REFRIGERACIÓN CON RECUPERACIÓN DEL AGUA
PERDIDA POR LA TORRES DE ENFRIAMIENTO TMS-3C-28FT

Instalación Argos, Colombia

Datos Cálculo,

-Media Máxima anual de temperatura 14,98 °C

-Media mínima anual de temp. 13,87°C

- Humedad relativa 76,26%

Temp. del aire a la salida de la torre; +30°C; 99.9% HR

El consumo son 16 L/Seg. en evaporación, arrastre y purgas 1 L/Seg. ciclos de saturación 557.600L/h

Purgas3.600L/h

Total.....61.200L/h

**Precio Orientativo de la instalación para recuperar el agua
indicada (57.600 L/h)**

11.881.425€

(Once Millones Ochocientos ochenta y un mil cuatrocientos veinticinco Euros.)



Nuestra Oferta Incluye los siguientes aportados:

- 1) Instalación para recuperar 57.600L/h de agua perdidas en la torre.
 - a) Intercambiador n°1 (aprovechando el aire exterior) de Carga térmica, $Q_1=6.646.157$ Kcal/h, Superficie, $S=21.302\text{m}^2$ Agua obtenida en esta fase: 9.353 L/h).

 - b) Intercambiador n°2: de Carga Térmica $Q_2=12.447.434$ Kcal/h y $S(\text{superficie})=36.877$ m^2 . Agua Obtenida en esta fase= 14.937L/h .

 - c) Intercambiador n°3: de $Q_3=33.739.211$ Kcal/h y $S=78.100$ m^2
Agua obtenida en esta fase: 34.500L/h.

 - d) Unidad Condensadora de $Q_c=38.240.325$ Kcal/h, con una potencia instalada de $N_i=6.540\text{Kw}$

 - e) Turbina de Aire con potencia total de: $86,6\text{Hp}+598\text{Hp}+864\text{Hp}=1.548,5\text{Hp}$

 - f) Sistema de control

 - g) Cuadro eléctrico.

 - h) Bomba de trasiego.

 - i) Montaje y puesta en marcha (Incluido desplazamiento del personal especializada)

- 2) Consumo: El consumo de esta planta ofertada será, aproximadamente y de acuerdo con las condiciones medias de trabajo de 0,09 Kw-h/Litro de H_2O ahorrada

