



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA
OPERACIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR DE FES ZARAGOZA CAMPUS II

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

HUGO CANO RICARDEZ

ASESOR: M. en C. JORGE VÁZQUEZ CERVANTES



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, Octubre 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por su cálida hospitalidad de sus trabajadores, me sentí como en casa, tuve allí la inspiración para desarrollarme ampliamente en mi trabajo.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón. A sus profesores, por inculcarme valores y conocimientos que van a regir mi vida profesional. Lo recalqué en la revisión de esta tesis. Todos los sinodales manifestaron placer, dedicación y gusto por contribuir en esta tesis. Son grandes ejemplos a seguir.

DEDICATORIA

A mi familia:

Mi papá Hugo, mi mamá Teresita, mi hermana Tere, mi tío Eusebio, mi novia Flor;

Por su motivación, valiosos consejos y apoyo.

A mi asesor:

Al Maestro Jorge Vázquez Cervantes, por su paciencia, disponibilidad y generosidad por compartir su experiencia y su amplio conocimiento, así como su motivación y sugerencias.

Muchas gracias.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 ACERCAMIENTO A LA PRODUCCIÓN DE VAPOR..... | 5 |
| 1.1 La necesidad de potencia con vapor..... | 7 |
| 1.1.1 Definiciones..... | 13 |
| 1.1.2 Funcionamiento..... | 14 |
| 1.1.3 Uso..... | 18 |
| 1.1.4 Presiones..... | 18 |
| 1.1.5 Materiales..... | 20 |
| 1.1.6 Tipos de Generadores de Vapor..... | 20 |
| 1.1.7 Generadores de vapor de circulación forzada..... | 21 |
| 1.1.8 Características de los Generadores de vapor de circulación forzada..... | 21 |
| 1.1.9 Generador de vapor continuo..... | 22 |
| 1.1.10 Generador de vapor continuo modificado..... | 23 |
| 1.1.11 Generador de vapor de circulación controlada..... | 24 |
| 1.1.12 Evaporador por vapor sobrecalentado..... | 25 |
| 1.2 Generador de vapor tipo LaMont..... | 26 |
| 1.3 Características principales..... | 27 |
| 1.3.1 Seguridad del Generador de Vapor Clayton..... | 27 |
| 1.3.2 Pros y contras..... | 28 |
| 1.3.2.1 Ventajas..... | 29 |
| 1.3.2.2 Desventajas..... | 30 |
| CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE LA NECESIDAD DE UN MANUAL SINTETIZADO PARA OPERACIÓN..... | 33 |
| 2.1 Necesidad de apoyo para los operadores del Generador de Vapor y capacitación..... | 35 |
| 2.2 Cantidades máximas de vapor requerido por equipo y total.. | 37 |
| 2.3 Caídas de presión y flujo de vapor en requerimiento máximo | 40 |
| CAPÍTULO 3 RECONOCIMIENTO DE LAS INSTALACIONES..... | 43 |
| 3.1 Descripción..... | 45 |
| 3.2 Conteo de elementos para control de flujo..... | 51 |
| 3.3 Distribución de sistemas..... | 55 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| 3.4 | Distribución de instalación de vapor..... | 58 |
| 3.4.1 | Agua de alimentación..... | 61 |
| 3.4.2 | Tratamiento químico..... | 64 |
| 3.4.3 | Combustible..... | 72 |
| 3.5 | Particularidades de control específicos..... | 74 |
| 3.5.1 | Bomba dosificadora..... | 75 |
| 3.5.2 | Suavizador automático..... | 78 |
| 3.5.3 | Fuego bajo y fuego alto..... | 87 |
| CAPÍTULO 4 | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN.. | 91 |
| 4.1 | Procedimientos de arranque y paro para el Generador de Vapor EO60..... | 93 |
| 4.1.1 | Procedimiento de arranque..... | 93 |
| 4.1.2 | Procedimiento de paro..... | 96 |
| 4.2 | Listas de verificación..... | 101 |
| 4.3 | Contenido y llamado de bitácora..... | 103 |
| 4.4 | Aplicación del manual..... | 106 |
| CONCLUSIONES | | 109 |
| | Establecimiento de bitácora..... | 111 |
| | Establecimiento del manual de operación..... | 111 |
| | Establecimiento de las listas de verificación..... | 117 |
| | Énfasis referente a la seguridad..... | 118 |
| | Satisfacción del cliente..... | 120 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 121 |
| ANEXO | | 127 |

INTRODUCCIÓN

Los Generadores de Vapor (GV) son equipos con alto grado de diseño, también cuentan con gran cantidad de piezas y equipos secundarios. Sus aplicaciones en la industria son muy variadas y van desde la esterilización, calentamiento, movimiento, fuerza motriz, atomización, limpieza, hidratación, hasta humidificación.

Algunas aplicaciones en ingeniería de procesos de calentamiento son en la alimentación de intercambiadores de calor fabricados con vidrio, metal, metal de tubos y coraza, de una torre de enfriamiento y en el caso de la presente tesis, es aplicado el vapor de agua a los procesos de destilación y separación de etanol-agua, transferencia de calor, y de operación de torres de enfriamiento.

Como importancia de mantener un generador de vapor en condiciones operativas, el presente trabajo tuvo el objetivo de desarrollar y dejar establecido un manual de procedimientos para la operación adecuada del Generador de Vapor Clayton de la FES Zaragoza, ubicado en la Planta Piloto del Campus II.

Al desarrollar el manual se consideró la generación de documentos que sustentan y dan eficacia a los procedimientos de arranque y paro. Parte de esos documentos son hojas de verificación que permiten un mejor control de los elementos de flujo, además de facilitar la aplicación de procedimientos de análisis del agua de alimentación, procurando una mejor calidad en la generación de vapor y en la durabilidad del equipo. Otro documento que se generó por la necesidad de operar y cuidar al GV es la bitácora, misma que se establece para tener registro del funcionamiento, y mejora en la comunicación de los distintos trabajadores que manejan el equipo

Con la ayuda del manual se facilita el manejo de un GV de la marca Clayton, el cual podrá ser utilizado con mayor seguridad, ya que, sin considerar la capacitación o el desconocimiento de equipos termodinámicos, se asegura que cualquier persona de nivel licenciatura podrá utilizarlo. Con ello se soluciona el problema que se presenta en la FES Zaragoza de la alternancia o inasistencia de los técnicos que llegue a suscitarse, para que las prácticas del laboratorio de Ingeniería Química se realicen sin contratiempos.

Un claro ejemplo de los beneficios de un manual de procedimientos, se tiene en la FES Aragón, ya que desde maestros y alumnos por medio de esta guía pueden realizar de manera clara y efectiva los distintos procedimientos del GV. También, existen diversos manuales con la autoría de empresas, pero no son compatibles con la necesidad de la FES Zaragoza, porque orientan y son delimitados, debido a que cada cuarto de máquinas, instalaciones hidráulicas y equipos son alimentados por vapor para distintas aplicaciones.

De acuerdo a lo anterior el objetivo de esta tesis es el establecimiento de un manual de procedimientos para el Generador de Vapor de la FES Zaragoza. Como objetivos específicos poseer un manual de procedimientos detallados y una bitácora para tener un control de uso y mantenimiento para el GV, contar con una guía clara y de fácil comprensión para profesores y alumnos, facilitar el manejo del equipo, usar las hojas de verificación con el propósito de evitar problemas de seguridad y de operación, dar el tratamiento adecuado al agua con la que se abastece a la FES Zaragoza.

En base a los objetivos y lograr conseguir los beneficios descritos anteriormente, en el Capítulo 1 se menciona la necesidad de producir vapor de manera histórica, y cómo ha evolucionado hasta llegar a los requerimientos de la actualidad, ya que al conocer las funciones del vapor podremos entender las distintas aplicaciones y la importancia de los equipos de vapor en laboratorios como la Planta Piloto de la FES Zaragoza. También en este apartado se define el término de “Caldera tipo LaMont” y “Generador de Vapor”, así como su actual evolución en la fabricación de empresas como Clayton, ya que se explicará su clasificación, características, particularidades y seguridad. Con la importancia de conocer el equipo con el que se trabaja y sus principios teóricos, para el desarrollo del manual.

Durante el capítulo 2, se explica la necesidad de la existencia del manual de procedimientos, y se le da solución a la problemática de la alternancia de los trabajadores, ya que sin importar la movilidad de los técnicos el manual ayuda en el encendido, apagado, y buen uso, para todo aquel que necesite el servicio de vapor. También, se mencionan los requerimientos máximos de vapor en los que se puede trabajar con uno o todos los equipos trabajando en el mismo instante, ya que para dar un buen servicio y que las prácticas de ingeniería química se realicen en óptimas condiciones el suministro

de vapor debe ser eficiente. Todo esto se incluye en el manual de operación, para un óptimo funcionamiento del vapor en los equipos, ya que el manual está diseñado específicamente para el GV EO60 de la FES Zaragoza.

En el Capítulo 3, se hace una inspección para reconocimiento de las instalaciones, que comprende: una descripción general de todo el sistema, un conteo de los elementos de control de flujo, la distribución de las instalaciones, distribución de sistemas, la importancia de los procedimientos de análisis para la alimentación de agua y combustible; todos estos puntos vienen indicados con un diagrama en el manual así como de una etiqueta física en el equipo y las hojas de verificación que en conjunto permitirán tener una clara distribución, visualización, y control de los distintos elementos.

También, se presentan las características principales del Generador EO60 Clayton con el que se trabaja en la FES Zaragoza, la marca, pros y contras del generador y sus particularidades digitales y automáticas; lo cual brinda facilidades al operador, ya que realiza distintas tareas automáticas solo con programarlo. Esto será importante para las hojas de verificación y bitácora, porque deberá conocerse cada elemento, para poder poner en marcha el generador y apagarlo de la forma correcta ya que permitirá seguridad al equipo, y al operador.

Para finalizar en el Capítulo 4, se establece el manual de procedimientos de vapor con sus complementos, como son las hojas de verificación, la bitácora de mantenimiento y los respectivos diagramas. Además, para una buena fiabilidad, fueron puestos a prueba todos estos documentos con ayuda de la Maestra Elisa Viñas Reyes que como Técnico Académico es la encargada de la Planta Piloto. De esa manera la persona que pretenda emplearlo, podrá utilizar el GV de manera eficaz.

CAPÍTULO I

ACERCAMIENTO A LA PRODUCCIÓN DE VAPOR

1.1 LA NECESIDAD DE POTENCIA CON VAPOR

La Revolución Industrial surgió en Europa, en el lapso comprendido entre los años de 1760 a 1830, en donde se presentaron grandes cambios e innovaciones del tipo social, económico, cultural y tecnológico. Esta etapa es fundamental, esencialmente para la tecnología, ya que se modernizaron áreas de la industria, se generaron más inventos, y apareció el uso de vapor como herramienta.

Algunos de los cambios que influyeron en la industria fueron:

- El inicio de las ferrovías para las nuevas locomotoras y barcos de vapor
- Creció la fuerza de trabajo en las fabricas
- El trabajo se especializó más, por los requerimientos de las fábricas.
- El capitalismo empezó en 1760 y alcanzo su pleno desarrollo en 1830
- Se hizo infraestructura como: pavimentación de calles, alcantarillado y sistema de agua

Fue una época en la que, se le dieron garantías al inventor, sin embargo, estas situaciones fueron usadas en ocasiones para detener el desarrollo de nuevas ideas.

Como lo que sucedió con James Watt, inventor de la Máquina de Vapor, quien basándose en una ley impidió que otros ingenieros realizarán la construcción de nuevos tipos de máquinas a base de vapor, lo cual fomentó la piratería. Por consiguiente, nacieron instituciones, cuyo objeto fue disputar la legalidad de los derechos por los tenedores de las patentes.

Esas reacciones influyeron en la Sociedad para el Aliento de las Artes, Manufacturas y Comercio, fundada en 1754, que premió a inventores que dieran sus descubrimientos al dominio público para promover los inventos y la innovación. De esa

manera, se acelera la evolución de un producto, dado que ingenieros y empresas, lo producen con mejoras y su adquisición se realiza fácilmente por su aumento en el mercado. Gran parte de inventos se propiciaron en esta etapa de la historia, en distintas áreas de la industria.

Así, la mayoría de los descubrimientos se logran después del ensayo y error, por lo que dos o más ideas y procedimientos previos, al unirse producen un mecanismo complejo y eficaz, como el uso del riel, utilizado por largo tiempo, que, al ser combinado con la locomotora, da paso al nacimiento del ferrocarril, a esto se le denomina mutación cruzada, donde el azar juega un papel muy pequeño.

Uno de los más grandes logros de esta época, fue el de utilizar vapor, pero para ello éste tuvo que evolucionar hasta ser un elemento fundamental de la industria. Tanta importancia tiene este recurso que influyo directamente en la economía, ya que el vapor y el carbón fueron la fuerza que se necesitó para la expansión industrial, generando manufactura a gran escala.

Su origen como elemento para métodos de desagüe, proviene desde que en las minas el agua fue un problema difícil de resolver, ya que esta se introducía, inundaba el lugar y no dejaba trabajar, en algunas zonas se hicieron tuberías de desagüe con pieles de borrego y madera, impidiendo que las fuentes anegaran la mina. Con ello, hubo multitud de procedimientos para desahogar, como bombas de mano, recipientes, animales para desplazar el agua en recipientes, y molinos. De manera que los ingenieros de minas tuvieron un gran reto, los costos de desagüe eran muy altos, aunque las recompensas para un método eficaz eran mayores.

Thomas Savery inventó en 1698 una bomba que utilizó vapor, “instalada en una depresión del pozo, se componía de una caldera y de un condensador, ambos provistos de tubos, uno de los cuales conectaba con el sumidero en tanto el otro iba a la superficie; el vacío creado por la condensación del vapor absorbía el agua del sumidero; y la presión del vapor de la caldera lo impulsaba hasta la superficie” (Ashton, 1981; p. 48).

Como esta invención, generaba gran cantidad de energía y no se aprovechaba, el inventor Thomas Newcomen, creó en 1708, una maquinaria atmosférica y automática para desagüe. Consistía en “una gran pértiga, centrada en un eje elevado

por medio de mampostería, tenía libertad para balancearse verticalmente; uno de los extremos de la pértiga estaba conectado a un pistón; éste; movido por un medio de vapor, transmitía sus movimientos a la pértiga, la que a su vez los comunicaba a las varillas de una bomba, conectada a su otro extremo, y que desaguaba la mina” (Ashton, 1981; p. 48). Fueron buenas sus contribuciones en el área carbonífera, y en 1765 había alrededor de cien máquinas trabajando en Inglaterra.

En 1760, la máquina de Newcomen se limitó al bombeo de agua, podía ser aprovechada por la caída de agua que generaba para mover una rueda y así, impulsar máquinas, sin embargo, se desperdiciaba gran cantidad de energía con este procedimiento. Este desperdicio fue de tal interés que, en la Universidad de Glasgow, tanto Joseph Black (que enseñaba acerca del fenómeno) y John Anderson (que usaba un modelo para sus clases) aprovecharon que James Watt trabajaba cerca de allí, y lo llamaron a fin de hacer una reparación de la máquina de Newcomen.

Entonces James Watt determinó que “el principal defecto de la maquina atmosférica consistía en la alternante inyección y condensación del vapor: a fin de impedir que el vapor se condensara antes de que el pistón hubiese finalizado su movimiento ascendente, era preciso conservar el cilindro caliente; a la vez, a fin de condensar el vapor para el descendente, el cilindro debía permanecer frío” (Ashton, 1981; p. 83) dado que los cambios repentinos de temperatura en el movimiento del cilindro, significaban desaprovechamiento de energía potencial.

En 1765, le dio solución al introducir por separado un condensador que permaneciera frío, mientras que el cilindro en todo momento se conservara caliente. Así que se construyó el modelo, con el fin de que en un futuro pudiera ser una maquina industrial en todos sus sentidos. Y con ello, los experimentos de Watt fueron financiados por su socio John Roebuck, quien tenía participación en la patente de 1769, que después tuvo que vender por cuestiones financieras a Mathew Boulton. Ya en las fábricas de Boulton, en Soho, con su apoyo Watt construyó las válvulas y otras partes de la maquinaria.

Watt tuvo suerte de encontrar a las personas y empresas correctas en la realización de su proyecto, como las fabricas Coalbrookdale con larga experiencia en la producción de fundidos para la maquinaria atmosférica, también a Bradley con gran

experiencia en hierro, John Wikilson cuya patente en taladrar cañones servía para el taladro de cilindros.

Como evolución de los trabajos con vapor, los principios fundamentales descubiertos por Black en sus investigaciones, el capital de Boulton, y auxiliares como Wikilson, Murdoch, Southern entre otros, James Watt con todas las aportaciones de esos genios materializó e inventó la máquina de vapor.

En 1775, el Parlamento ratificó la patente otorgada a Watt por veinticinco años más, es decir, hasta 1800. Con ello, en los seis primeros años de este periodo, la máquina de vapor de simple efecto se dedicó solamente a producir movimiento alternativo. En la industria del carbón fue complicado sustituir a la máquina de Newcome por las altas regalías que generaba la máquina de Watt. Así, la máquina de vapor fue usada en esos años para bombear agua a los depósitos.

Después Watt siguió trabajando sus ideas y en 1782, “nació la maquina rotatoria de doble efecto, en la cual la fuerza expansiva del vapor se aplicó a los dos movimientos del pistón; en 1784 vio la luz la máquina de movimiento paralelo y en 1788 el precioso invento del regulador, que dio mayor regularidad y suavidad al movimiento causado por la acción del vapor, esencial para controlar la acción del vapor, esencial para controlar la energía destinada a métodos industriales más dedicados y complicados” (Ashton, 1981; p. 85, 86).

En 1785, se abrió el camino de la industria textil, cuando caducaron las patentes de Arkwright, para cardar por medio de cilindros, que necesitaban una gran cantidad de energía. Con ello la hidráulica por medio de molinos fue una temporal solución. Por ejemplo, Samuel Crompton produjo una maquina textil parecida al torno y al telar, que producía movimiento por medio de la fuerza hidráulica.

Cuando ocurrió eso, en el mismo año la máquina de vapor se abrió mercado, porque se utilizó para los hilados de rodillos y después en 1790 se manipuló para las hiladoras intermitentes, con ello creció la industria textil, por la instauraron de grandes fábricas en las ciudades. También con Wedgwood, inventor del vidrioado verde, experto en alfarería, y amigo de Boulton y de Watt, participó en el desarrollo de la máquina de vapor incorporándola en la alfarería como forma de energía para pulverizar sus materiales y mover sus tornos.

Con la industrialización, la competencia de centros de producción alejados de los mercados aumentó en consideración a los que se encontraban cerca, que disminuyeron o se mantuvieron igual, lo cual fue un hecho sin precedentes porque no había ocurrido antes en esa contienda. Con esto, se adiestraron ingenieros, para responder a la demanda, que los ferrocarriles cumplirían; con su habilidad, resistencia y capacidad. Así fue como se revolucionó la industria de los transportes. Después de 1750, el número de los caminos aumentó, con lo que se incrementó la capacidad de las carreteras.

El hierro colado antes de ser un elemento esencial usado para los Generadores de Vapor, funcionó para instrumentos domésticos y piezas de artillería, fue en el transcurso de la Revolución Industrial que empezó a ser usado para equipos industriales. Creció la industria metalúrgica, pero fue a fines de siglo cuando se logró la fabricación de hierro forjado con carbón, con lo que se tuvo una espectacular expansión de esta industria.

El hierro fue un gran recurso de la época, ya que además de ser material para la creación de calderas, en el siglo XVII se colocaron placas de hierro colado en las curvas de los caminos o en puntos para amortiguar el rodamiento. En 1767, Richard Reynolds construyó rieles de hierro colado para el camino de Coalbrookdale al Río Severn, con ello las ruedas de los vagones aseguraban el contacto con el camino. Además, el hierro colado influyó en el terreno minero, porque ayudo para penetrar a mayores profundidades. En 1777, John Curt introdujo rieles de este material en Sheffield, propiciando el transporte subterráneo, lo cual genero nuevas economías.

El uso del coque innovó en la producción de hierro, ya que hizo que creciera el número y tamaño de los altos hornos, así el metal tomo más importancia al sustituir la madera y a la piedra en la construcción, provocando que la industria del hierro se expandiera. La máquina de vapor también fue fundamental en esta industria, porque fue utilizada para mover grandes ruedas que accionaban los fuelles, martillos de agua y rodillos laminadores.

Para todos los ferrocarriles la fuerza de tracción fue suministrada por caballos, pero fue hasta 1825 que ingenieros de Inglaterra y Francia estudiaron la recién descubierta energía del vapor para innovar a los ferrocarriles. En 1784, Watt obstruyó

varios proyectos que usaban vapor, porque no los veía con utilidad, eso retraso la llegada de la locomotora a vapor. Como es el caso de William Symington y William Murdor, que crearon locomotoras modelo que no vieron la luz en su momento y solo fueron archivadas.

Fue hasta que concluyó la patente de Watt, que Richard Trevithick, creó una máquina de alta presión, la cual fundamentó un carruaje movido por vapor con el cual realizó varios viajes por Londres en 1803. Lamentablemente las carreteras eran muy rurales y no se adaptaban a su creación, así que la idea de una rueda lisa combinada a un riel retardó la llegada a un ferrocarril a vapor.

William Hedley, demostró la posibilidad de unir ambos elementos; así como George Stephenson, que mejoró la idea de la locomotora incrementando la corriente de aire sobre la caja de fuegos. Así en 1821, Edward Pease obtuvo permiso para construir un ferrocarril, así que contrató a Stephenson junto con sus ideas sobre la locomotora, para que por medio de caballos y cables enrollados por máquinas le dieran la fuerza motriz a la máquina.

Fue hasta 1829, cuando el vapor se utilizó como medio de transporte, debido a que la locomotora a vapor de Stephenson "Rocket", ganó la competencia contra el ferrocarril recién construido en Manchester y Liverpool. Esto significo la culminación de la revolución técnica. Lo que trajo después consecuencias como en la navegación a vapor.

De esta manera es como el descubrimiento y el uso del vapor, como herramienta de trabajo en la industria fue creciendo, hasta ser actualmente un elemento fundamental. Ahora los equipos y máquinas de vapor son más sofisticadas, al grado de que se puede generar vapor con gran potencia en corto tiempo, se ha pasado de calderas a generadores de vapor. En la FES Zaragoza, la aplicación que se le da al Generador de vapor es para calefacción, ya que los procesos de las distintas prácticas que se realizan son para emplear, calcular y comparar coeficientes de calor.

1.1.1 COMPARACIÓN ENTRE CALDERA Y GENERADOR DE VAPOR

CALDERA

En la definición técnica escueta, “se comprende como caldera únicamente al cuerpo que forma el recipiente y las superficies de calefacción por convección.” (Clayton, 2016; p. 3)

También como, “dispositivo para generar vapor para fuerza, procesos industriales o calefacción; o agua caliente para calefacción o para uso general.” (Shields, 1965; p. 21)

GENERADOR DE VAPOR

Definición técnica “cuerpo que forma el recipiente y las superficies de calefacción por convección [...] con paredes enfriadas por agua para el fogón, sobrecalentadores de aire y economizadores” (Shields, 1965; p. 21), es decir, “la caldera, junto con la sección (sobrecalentador) donde el vapor se sobrecalienta, recibe el nombre de generador de vapor” (Cengel, 2012; p. 562).

Clayton define al GV como, “aquella máquina que transforma el agua en vapor aprovechando el calor generado por la combustión de un material combustible, para producir energía para procesos o dispositivos de calentamiento; o agua caliente para calefacción o para uso general, a través de un intercambio de temperatura, teniendo como característica principal ser un recipiente cerrado sujeto a una presión mayor que la atmosfera.” (Clayton, 2016; p. 2).

COMPARACIÓN

Hay una diferencia muy marcada entre Caldera y Generador de Vapor, la función principal de una caldera es calentar el agua, y ésta es retirada “cuando ha alcanzado la temperatura deseada. La caldera se alimenta, ya sea en forma continua o intermitente, de tal manera que el nivel se conserve relativamente constante” (Shields, 1965; p. 22).

Así, podemos obtener agua a grandes temperaturas. En cambio, los Generadores de vapor, generan vapor a una gran escala, para ello “es necesario

contar con un sistema que sea capaz de almacenar el agua que se ha de transformar en vapor, una fuente de calor que pueda elevar su temperatura hasta su punto de evaporación, una superficie metálica que pueda transferir el calor al agua y una zona destinada al almacenamiento del vapor generado; todo al mismo tiempo” (Clayton, 2016; p. 2); así es como el generador de vapor produce vapor saturado.

Cabe destacar que muchos autores utilizan el término “Caldera”, porque surgió antes que el de “Generador de Vapor”, pero mientras no se interponga con las definiciones anteriores, se puede considerar como un sinónimo para referirse a los Generadores de Vapor.

1.1.2 FUNCIONAMIENTO

El principio teórico para el funcionamiento de un Generador, es la transferencia de calor, la cual se cumple por convección y radiación. Es decir, la convección es la “transferencia de calor por movimientos de la sustancia misma calentada” (Hewitt, 2007; p. 764). Por ejemplo: la transferencia de calor que ocurre dentro del sistema entre el agua fría y caliente, es convección. Y la radiación es la “transferencia de energía debida a la emisión de ondas electromagnéticas (o fotones)” (Cengel, 2012; p. 62). Por ejemplo: el calor generado por el calor de la combustión y de los gases, llega al agua almacenada sin tener contacto directo con ella, ya que viaja el calor por ondas, aunque haya un medio como el aire entre ellas.

Una aplicación que se destaca con el Generador de Vapor es la producción de energía eléctrica, este uso cumple conforme el ciclo Rankine ideal por sus procesos y porque no incluye irreversibilidades internas, esta aplicación comúnmente es utilizada para centrales eléctricas.

El ciclo Rankine ideal comprende los siguientes cuatro procesos (Cengel, 2012; p. 561):

1. Compresión isentrópica en una bomba.
2. Adición de calor a presión constante en una caldera.
3. Expansión isentrópica en una turbina.
4. Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

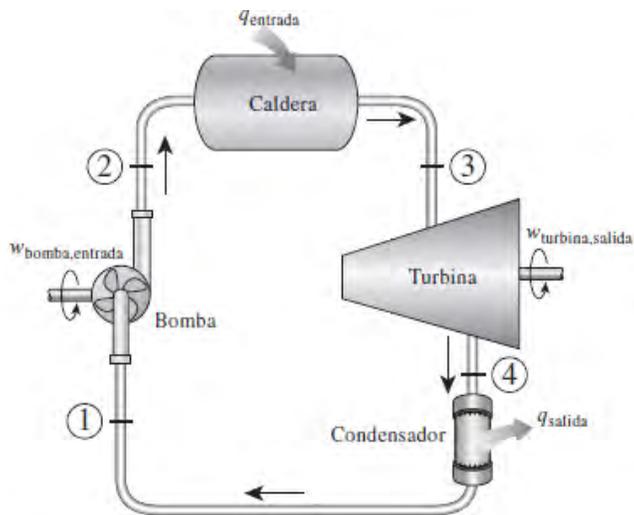
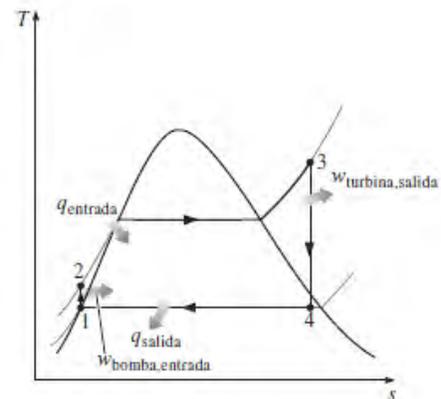


Figura 1.1 a) Ciclo Rankine ideal simple



b) Diagrama Temperatura- Entropía (Cengel, 2012; p. 561)

Como se ve en la Figura 1.1, empieza el proceso con la admisión de agua en estado líquido subenfriado o comprimido, al recircularse en el sistema como en el caso del estado 1 la admisión a la bomba es en estado de líquido saturado. En la bomba la temperatura aumenta un poco por la compresión isentrópica, ya que el volumen específico del agua tiene una ligera disminución.

En el estado 2, el agua entra a la caldera, con la característica de líquido comprimido, en esa zona se le transfiere más calor al agua, la caldera funciona como un intercambiador de calor, que transfiere por medio de convección y conducción a presión constante, como producto de la energía desencadenada, originada principalmente por los gases de combustión, reactores nucleares u otras fuentes de energía.

El agua con este proceso sale de la caldera como vapor saturado o sobrecalentado (dependiendo del tipo de la caldera). En este estado 3, el vapor entra a la turbina donde se expande isentrópicamente para mover y obtener trabajo al eje, que después transforma en energía eléctrica.

En el estado 4, se observa que se encuentra en forma de vapor saturado, donde la presión y temperatura han disminuido por todo el proceso de la turbina para después pasar hacia el condensador, en éste cambia de fase de vapor saturado a líquido

saturado, también el condensador es un intercambiador de calor. Con ello, se obtiene saturado equivalente al estado 1 cerrando el ciclo.

Cabe destacar que el propósito del vapor en la FES Zaragoza no es para accionar una Turbina, sino de alimentar los distintos equipos del laboratorio de química. Pero aún se efectúa una expansión isentrópica donde la entropía es constante y con ello se obtiene un trabajo.

Como se ha mencionado en la Figura 1.1, en el estado 1 a 2 la bomba abastece con agua al Generador de Vapor, esencialmente con agua suave para evitar sales minerales disueltas, tales como Calcio y Magnesio que se encuentran comúnmente en el agua de la red. La incrustación, es el desprendimiento o precipitación de las sales minerales, ésta es causada por el uso de agua dura que aunada con el calentamiento genera capas en la tubería, las cuales generan mayor resistencia al paso de calor y un incremento a la presión en el sistema.

Para la obtención de agua suave, el agua de la red llega a un Suavizador, el cual tiene un tanque de resina, “que contiene una resina Catiónica o Zeolítica, cuya función es suavizar el agua intercambiando los iones de sodio que contiene la resina, por los iones de Calcio y Magnesio que contiene el agua, los cuales forman la dureza” (Clayton, 1997; p. 28). Cabe destacarse que, para ayudar con el proceso de limpieza del suavizador, debajo de la Zeolita hay una cama de grava que da soporte y filtrado al agua.

El agua ya denominada suave es introducida a un tanque de condensados en el que además se le realiza un tratamiento químico por medio de tres reactivos propios de la marca Clayton: Oxicl原因, Policl原因 y Aminclay.

Estos son introducidos con la bomba dosificadora, que estará funcionando en todo el proceso con la finalidad de que el agua este con las proporciones correctas de oxígeno, un pH óptimo de 10.5 a 11.5, y la cantidad mínima de sólidos en suspensión por la presencia de aminas que generan puentes de Hidrogeno para separar los sólidos. Para ello los químicos separarán las impurezas que se presenten en el agua, y por medio de los dispositivos de purga automática y manual serán expulsadas, al final de la jornada o en pleno funcionamiento del equipo.

Después, se pasa al Generador de Vapor, el cual es alimentado por caída natural y empuje forzado con una bomba compuesta por un pistón y un diafragma, así el agua entra por un serpentín helicoidal, que es calentado a grandes temperaturas por la combustión del diésel, para cambiar de fase al agua de líquido subenfriado a vapor saturado y después llevarlo hasta vapor sobrecalentado.

Para incrementar la eficiencia en la generación de vapor, el Separador de Vapor utiliza un elemento mecánico, llamado Trampa de Vapor, que actúa como separador de agua saturada y vapor saturado a la salida del serpentín, con esto se obtiene un vapor de calidad, porque la Trampa redirige el agua saturada al Tanque de Condensados, para que solo haya vapor en el Separador de Vapor. Este proceso realiza su ciclo repetitivamente, lo que facilita el cambio de estado del agua, ahorrando tiempo, combustible y dinero.

Además, para tener eficiencia en la generación de vapor, es importante conocer la capacidad de producción de calor, que es la cantidad de vapor o agua caliente por hora, y depende de los siguientes factores (Shields, 1965; p. 21):

1. Grado de combustión de combustible en el fogón.
2. Extensión de la superficie de calefacción.
3. Proporción en la que se distribuye la superficie, en áreas de calefacción primarias (calor radiante) y secundarias (calefacción por convección).
4. La circulación del vapor o del agua y la de los gases de la combustión

Para facilitar la combustión es necesario suministrar aire, ya que la combustión requiere para la reacción química oxígeno y un material oxidante; normalmente al haber un buen tiro natural la combustión es eficaz, pero en caso contrario la solución es el uso de un ventilador, esto cumple para los casos de tiro forzado, tiro inducido o la combinación de ambos. Por ejemplo, los Generadores de Vapor EO60 de Clayton usados en la FES Aragón y la FES Zaragoza, utilizan un ventilador porque el tiro es forzado.

Hay GV de varios tipos y funciones, y se clasifican basándose en algunas características como son el “uso, presión, materiales de que están construidas,

tamaño, contenido de los tubos, forma y posición de los tubos, sistema del fogón, fuente de calor, clase de combustible, fluido utilizado, sistema de circulación, posición del hogar, tipo del fogón, forma general, nombre registrado del fabricante y propiedades especiales” (Shields, 1965; p. 23).

1.1.3 USO

Los GV tienen distintos usos con los cuales han sido diseñados; como proporcionar fuerza, calefacción en general o hasta generar vapor. Sus características dependen de la función que proporcionan y para ello influye si son estacionarios o móviles. (Los GV estacionarios son instalados en la tierra y los móviles en navíos y locomotoras, dependiendo esta denominación influyen muchos factores como el agua de alimentación).

Los GV estacionarios se utilizan comúnmente para la calefacción, estos tienen la característica principal de que el lugar en donde se realizó la instalación, es un punto fijo e inamovible, que no va a sufrir movimientos, cambios bruscos de temperatura o de presión. Este tipo de lugares son edificios, plantas de termoeléctricas o unidades generadoras para servicios especiales.

Los GV portátiles cumplen para muchos usos por su manejo, ya que pueden ser desplazados a distintos lugares por su facilidad de instalación, también son portátiles los que su lugar de instalación cuenta con movilidad, este es el caso de los de tipo locomóvil, son usados en ferrocarriles a vapor, tractores, campos petroleros, aserraderos, malacates, y obras de construcción.

1.1.4 PRESIONES

Para tener un control en la seguridad de los GV para su diseño, construcción, y pruebas se utiliza el Código de Calderas y Recipientes a Presión Sección III ASME (American Society of Mechanical Engineers). Esta es una sociedad especializada de profesionales que dictan normas para dar calidad y seguridad a los equipos. Este código divide a los GV conforme a las siguientes características (Shields, 1965; p. 24): (es importante recordar que en el apartado 1.1.1 Comparación entre Caldera y

Generador de Vapor, se destacó que según el contexto se puede tomar como sinónimo el término “Caldera” y “Generador de Vapor”).

1. Calderas de calefacción de baja presión, que comprenden todas las calderas de vapor que no exceden de 1.05 kg/cm^2 y todas las calderas de agua caliente que operan a presiones que no exceden de 11.25 kg/cm^2 y cuyas temperaturas no sobrepasan los 121°C . (Aparece en el código ASME Sección IV).
2. Calderas para generación de fuerza. Se consideran dentro de esta sección todas las calderas cuyas condiciones de operación sobrepasan los límites señalados en el párrafo anterior.
3. Se consideran como calderas de miniatura, todos aquellos tanques de presión sometidos a fuego, que no excedan los límites siguientes: Diámetro interior del casco: 406 mm, volumen máximo de 0.141 m^3 , excluyendo la cubierta y el aislamiento; superficie de calefacción de 1.86 m^2 y 7 kg/cm^2 de presión máxima de trabajo” (Aparece en la Sección V del código ASME).

Además, para establecer los requisitos de seguridad para los Generadores de Vapor o Calderas, la NOM (Norma Oficial Mexicana) dictamina que todos los centros de trabajo que utilicen o diseñen estos equipos, deben aplicar la norma NOM-020-STPS-2011, la cual divide en siguientes categorías los distintos tipos de GV (Diario Oficial de la Federación, 2011; p. 21):

Categoría II

Los generadores de vapor o calderas que tengan una presión de calibración menor o igual a 5 kg/cm^2 y una capacidad térmica menor o igual a $400\,000 \text{ kcal/hr}$.

Categoría III

1. Tengan una presión de calibración menor o igual a 5 kg/cm^2 y una capacidad térmica mayor a $400\,000 \text{ kcal/hr}$; o
2. Tengan una presión de calibración mayor a 5 kg/cm^2 y cualquier capacidad térmica.

1.1.5 MATERIALES

El código ASME también rige las especificaciones de los materiales, para que haya una amplia normativa de seguridad, en este caso la información aparece en la Sección II del Código de Calderas ASME.

En base a ello, los GV de presión baja se fabrican de dos materiales, como son el hierro colado o el acero, también hay calderas para uso casero diseñadas con tubos de cobre, obviamente para cada caldera se hace una planeación de los materiales para cumplir con los requerimientos de presión que se exige.

Los GV de hierro colado son producidos por fundición gris, es decir, tienen la característica de que la unidad de calentamiento es de ese material y para unir los elementos que la conforman, se utilizan nipples de presión o cabezales exteriores.

Los GV de acero son manufacturados con láminas de acero. Para unir estas placas y formar la unidad de calentamiento, se utilizan costuras de remaches o costuras de soldadura. En la actualidad, la soldadura cumple con los requerimientos de seguridad que la presión demanda, este punto viene destacado en el Código ASME Sección IX de Soldaduras, ya que este elemento es muy utilizado en la industria de los generadores.

1.1.6 TIPOS DE GENERADORES DE VAPOR

Shields, clasifica a las calderas (o Generadores de Vapor) dependiendo el tipo de material, como se muestra a continuación (Shields, 1965; p. 28):

- 1. Calderas de acero: A. Calderas del tipo tubos de humo, B. Calderas del tipo acuotubular, que se dividen en: 1. Calderas horizontales de tubos rectos, 2. Calderas de tubos curvados: A. De circulación natural, B. De circulación forzada C. Calderas de cuerpo de acero.
- 2. Calderas de hierro colado.
- 3. Calderas de diseño especial.
- 4. Reactores de energía nuclear.

Debido a esta clasificación, se explicarán detalladamente los GV de Circulación Forzada, ya que el GV LaMont es un derivado de este tipo y además es con el que la empresa Clayton rige sus diseños.

1.1.7 GENERADORES DE VAPOR DE CIRCULACIÓN FORZADA

Para este tipo de GV se utiliza una bomba colocada en el exterior, para forzar y dar fuerza al agua o el vapor en el circuito de la tubería.

Las presiones a las que se recomiendan los GV de circulación forzada son distintas a la de los otros tipos, no existe el Generador ideal, es por eso que hay varios tipos dependiendo la necesidad de uso, esto a su vez trae ventajas y desventajas. Algunos constructores prefieren la circulación forzada para “presiones mayores de 126.5 kg/cm²g. Otros fabricantes sostienen que la circulación natural se justifica económicamente hasta presiones de 190 kg/cm²g, excepto bajo condiciones especiales. Algunos otros consideran [...] aconsejable en presiones mayores de 162 kg/cm²g” (Shields, 1985; p. 91).

Los GV de circulación forzada son muy aconsejables a ciertas condiciones, porque a mayor presión de vapor el apoyo del tiro forzado es recomendable, ya que esta presión es proporcional a la presión de alimentación del agua, y la falta de agua podría generar caídas de presión. En la actualidad éstos han dado buena solución, ya que son efectivos para este tipo de presiones sobrecríticas. Su auge empezó desde la Segunda Guerra Mundial, en Inglaterra y gran parte de Europa, ya que con éstos eliminaron los domos.

1.1.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE CIRCULACIÓN FORZADA

La circulación forzada mejora la movilidad del agua porque con esta circulación se fluye por todos los circuitos generadores de vapor, además la presencia de calor puede aminorar el esfuerzo de la bomba, dado que la generación de vapor aumenta la presión en la tubería y con ello avanza a mayor velocidad el agua, esto dará origen a una altura de circulación. Por eso, es recomendable no tener ductos de gran tamaño,

puesto que se puede bombear fácilmente el fluido, aunque haya resistencia al flujo, esto es inclusive con bombas incluso pequeñas. Esto significa construcciones más baratas.

Dentro de los elementos del GV de circulación forzada, la única diferencia con los de circulación natural es la superficie de evaporación. Ya que los demás componentes actúan de manera normal, proporcionando los mismos factores. Además, con la circulación forzada se pueden alcanzar coeficientes muy altos de evaporación, como consecuencia de la mejorada y constante circulación del agua con calderas de este tipo.

También, económicamente brindan grandes beneficios, porque tienen menor recorrido los gases, lo que equivale a menos mamparas y menor potencia de consumo del ventilador. Es decir, se pueden compensar los costos y energía del uso de una bomba para la circulación del agua, porque se requiere en menor cantidad el uso del ventilador.

Las Calderas de Circulación Forzada se clasifican en tres tipos generales (Shields, 1965; p. 91):

1. Caldera continua (toda el agua es convertida en vapor).
2. Caldera de circulación controlada (el agua es recirculada).
3. Evaporadores por vapor sobrecalentado (se usa una bomba de vapor).

1.1.9 GENERADOR DE VAPOR CONTINUO

En este tipo de GV, el agua de alimentación es forzada a cambiar de estado durante el flujo de los circuitos, es decir, entra a la tubería como líquido saturado y sale como vapor saturado o sobrecalentado, por lo tanto, la cantidad de vapor que se origina, es proporcional a la cantidad de agua que se suministra.

El GV Continuo no necesita un domo de agua y vapor, es más que suficiente la alimentación de agua con las bombas diseñadas por defecto del Generador y sin usar algún otro método de bombeo, con esto no se provoca algún exceso de agua en el sistema.

Estos Generadores producen muy fácilmente vapor, ya que por un lado entra agua por los tubos que son calentados y por otro sale vapor; es decir, es un proceso en el que la conversión es muy rápida, de inmediato el agua al hacer contacto con la superficie caliente genera vapor, debido a ello estos reciben el nombre coloquial de GV instantáneo.

El GV Continuo ofrece considerables ventajas en economía de peso, pero presenta complicaciones en su diseño, las cuales se mencionan a continuación (Shields, 1965; p. 95):

1. Las sales precipitadas y los cuerpos sólidos [...] necesitan ser eliminados por medio de algún sistema de limpieza o lavado.
2. Los tubos carecen de un nivel de agua [...] porque este nivel varía con las circunstancias de operación [...] requiere un sistema de control muy sensible y enteramente automático para el suministro de combustible, de aire y de agua.
3. El punto de evaporación en el circuito, cambia con las fluctuaciones de la carga.
4. Con capacidades bajas de vapor, la corriente lenta del agua da lugar a una formación muy rápida del vapor, ocasionando sobrecalentamiento de los tubos.
5. Los tubos están expuestos a la corrosión en la zona de conversión del agua del vapor.

Dentro de los GV de flujo continuo, están el tipo Benson y Besler.

1.1.10 GENERADOR DE VAPOR CONTINUO MODIFICADO

También es llamado comúnmente como “GV Continuo Subcrítico”, debido a que este es adecuado para operar a presiones supercríticas. Además, no necesita otra bomba de circulación para su funcionamiento, sino solamente la de alimentación.

Este GV tiene la característica de que el vapor húmedo y el agua se descargan a un separador externo. También una parte del agua es drenada por el purgador hacia el calentador del agua de alimentación, con ello se controla la cantidad de sólidos y

sales en solución porque se expulsa la mayor parte de los concentrados. El agua restante, es una mezcla de vapor y líquido que entra a la sección de convección para concluir el secamiento y después pasa al sobrecalentador para la obtención de vapor. Dentro de este tipo de Generadores se encuentra el GV Sulzer (en Rusia conocido como Ramskin), que cumple con la característica principal de un interceptor de sales en cada circuito del sistema.

1.1.11 GENERADOR DE VAPOR DE CIRCULACIÓN CONTROLADA

En estos Generadores como el de la Figura 2.1, el agua es secada completamente para evitar sólidos y sales en solución, así que hasta que se logra ese objetivo, el agua es evaporada por los tubos de convección (Serpentín que se encuentran en contacto con la flama del quemador). Después el vapor viaja hasta llegar al domo en el cual es separada la mezcla líquido-vapor por una Trampa de vapor (parte inferior izquierda y de color azul), que conduce el vapor hacia el Separador (cilindro superior a la Trampa de vapor), en donde se quita el excedente de agua líquida pasando por un sobrecalentador. Con ello el vapor va a la salida de la tubería del GV y el agua líquida saturada se retorna al Tanque de condensados y a su vez, a bombas y dispositivos de purga continua o intermitente.



Figura 2.1 GV de Circulación Controlada, Tipo LaMont con: Suavizador, Trampa de vapor, Tablero, Serpentín, Flama. Fuente: (Clayton de México S.A. de C.V., 2018)

El agua que pasa en comparación al agua evaporada, es de tres a veinte veces más. Significa que aparte de las bombas de alimentación, se requieren bombas auxiliares para dar recirculación de manera constante. Así que el costo aumenta, y debe tomarse en cuenta dentro de los costos de operación de la caldera.

Una ventaja para la alimentación del combustible y el aire, es que se puede regular de manera manual o automática, y su desventaja es que el nivel del domo también tiene que regularse porque debe ser constante el agua.

En los Generadores de Vapor de circulación controlada, se ubican los de tipo LaMont, Velox y los GV de circulación de vapor. Es importante recordar que el GV LaMont, es el que se utiliza en la FES Aragón, y es de la marca Clayton; por lo tanto, es de circulación controlada.

1.1.12 EVAPORADOR POR VAPOR SOBRECALENTADO

En este evaporador el agua no entra a la caldera, lo que significa mayor facilidad al eliminar las incrustaciones y depósitos de sólidos, porque se pueden retirar limpiando las superficies de calefacción. Sus componentes son: una bomba de vapor, la caldera y el hogar, y un domo o tanque de evaporación.

Este tipo de equipos tienen la característica de que se utiliza sobrecalentamiento, el cual convierte el agua en vapor por medio de contacto directo. Esto genera vapor denso, para ello es necesario altas presiones, es debido a ello que esta caldera no es práctica a presiones bajas de 53 kg/cm²g, y resulta también antieconómico a presiones de 120 o 134 kg/cm²g, ya que se requiere mayor volumen para estas presiones.

Su funcionamiento depende a que la bomba “hace circular el vapor a través de los tubos del sobrecalentador de fuego radiante y luego por los tubos del sobrecalentador de convección. Una parte de este vapor sale hacia el punto de consumo por la salida principal y el resto es regresado al domo de evaporación, en donde es descargado por medio de chiflones sobre el agua” (Shields, 1965; p. 103).

Este procedimiento procura vapor de alta calidad, donde los sólidos en

suspensión y las sales quedan en la parte baja para después ser desalojados con las purgas. Algo muy importante es, que para arrancar una caldera de este tipo siempre debe haber vapor circulando, si no debe inyectarse de alguna fuente u otra caldera, eso es debido a que esta caldera produce vapor sobrecalentado, es decir, el vapor saturado que alimenta tiene un aumento de temperatura por medio del evaporador transformándose en vapor sobrecalentado. Un modelo muy usado, con calderas de este tipo es el evaporador Loeffler.

1.2 GENERADOR DE VAPOR TIPO LaMont

La Caldera LaMont como se ha mencionado es del tipo de Circulación Controlada, la cual fue “desarrollada en Alemania en 1930, es adaptable a todas las presiones hasta llegar a la supercrítica y para todas las capacidades hasta de 45 360 kg/h de vapor” (Shields, 1965; p. 102).

En este GV se recircula el agua, es decir, primero el agua fluye por los tubos de las paredes y de allí a los tubos del Serpentín (en la Figura 1.3, el serpentín es la tubería interna) que son calentados por convección, después el sentido de la corriente es invertido al llegar al domo para circular de nuevo por los tubos de convección, que economizan tiempo, energía y dinero. Con ello la recirculación proporciona a estos componentes, rapidez en la generación de vapor.



Figura 1.3 GV tipo LaMont con corte transversal. Fuente: (Clayton de México S.A. de C.V., 2018)

El GV tipo LaMont, es el que posee la FES Aragón y La FES Zaragoza Campus II, por tal motivo se hace un énfasis en este apartado. Al catalogar en particular este GV EO60, se determinó que por su material de acero y su característica de recirculación del agua, se clasifica como un GV de Circulación Controlada o de Recirculación, por su uso es estacionario y para calefacción, por el rango de presión que utiliza se considera para generación de fuerza porque sobrepasa el 1.05 kg/cm^2 de vapor y su temperatura del separador de vapor es mayor a 121°C , por la NOM es de la categoría III subíndice 2, por su calibración de presión que es mayor a 5 kg/cm^2 y su capacidad térmica es de $506\ 142 \text{ kcal/hr}$.

1.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La bomba de circulación tiene la característica de que “opera con una presión de entre 2.11 y 3.52 kg/cm^2 más alta que la presión de la caldera, mueve un volumen de 3 a 8 veces mayor que el monto de la evaporización, consumiendo el equivalente del 0.5 a 0.6% de la potencia nominal de la caldera” (Shields, 1965; p. 102).

El GV tipo LaMont “tiene la capacidad de $54\ 432 \text{ kg/h}$ ($120\ 000 \text{ lb/h}$) de vapor a $70.3 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ ($1\ 000 \text{ lb/plg}^2\text{g}$) y 482°C (900°F)” (Shields, 1965; p. 102).

1.3.1 SEGURIDAD DEL GENERADOR DE VAPOR CLAYTON

Clayton de México es una empresa especializada en proyectos hidráulicos, de vapor y agua caliente. Clayton lleva más de 55 años participando en este tipo de proyectos en el sector público y privado de México y América Latina.

La empresa Clayton fabrica Generadores de Vapor tipo LaMont, del tipo de flujo forzado, estos GV tienen tres componentes principales, los cuales son: un intercambiador de serpentín helicoidal de acero, una bomba de agua de alimentación de desplazamiento positivo y un separador de vapor mecánico.

Además, estos GV utilizan tecnología moderna, como “sistemas de control PLC basados en microprocesadores, sistemas de control de combustible servo accionado y están disponibles con quemadores de bajo NO_x para cumplir con los requisitos de emisiones más estrictos” (Clayton de México S.A. de C.V., 2018).

Los Generadores de Vapor tipo LaMont, en general son de los más seguros por su disposición y sistemas de seguridad, así que no pueden explotar, sino que, al ser tubos de agua, únicamente llegan a presentar fisuras por corrosión y es allí por donde llega a escapar el fluido a presión.

Los sistemas de seguridad con los que cuenta son: válvula de seguridad calibrada por la STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social), cinturón termostático para máxima temperatura, y presostatos para presión mínima y máxima, aparte dos válvulas de seguridad de descarga de agua para la descarga de la bomba de agua, diafragmas contra golpe de ariete, válvula de nivel de aceite para la bomba de agua.

También, dentro de la etapa de fabricación de los Generadores, Clayton prueba los GV en sus propias fábricas bajo las normas de calidad y de acuerdo al código ASME sobre calderas.

1.3.2 PROS Y CONTRAS

No existe una caldera completamente eficaz, por eso hay calderas de varios tipos, que brindan cualidades dependiendo su uso.

En la Caldera de Circulación Forzada se tienen grandes ventajas a temperaturas supercríticas, pero también deficiencias por alcanzar ese tipo de temperaturas; es decir, al dar más importancia en una característica se pierde efectividad en otra.

En la selección del GV ideal requerido, se analizan las ventajas y desventajas, ya que el objetivo es cumplir con las necesidades. En el caso particular de la FES Zaragoza el GV tipo LaMont, ofrece varias ventajas a la Facultad por su pequeño tamaño en dimensiones como son: facilidad y flexibilidad en la operación, vapor constante de alta calidad, alto nivel de seguridad, autonomía del sistema conforme el consumo de vapor, entre otros factores.

1.3.2.1 VENTAJAS

Los GV de Circulación Forzada ofrecen las siguientes ventajas (Shields, 1965; p. 93):

1. Circuito real
2. Flexibilidad en la construcción
3. Construcción compacta
4. Flexibilidad en la operación
5. Vapor de más alta calidad
6. Reducción de los periodos de parada
7. Factor de seguridad mejorado
8. Fugas mínimas
9. Reducción de la altura
10. Circulación durante el arranque
11. Control de temperatura
12. Condiciones de operación

Las ventajas se deben a varios factores, es decir, 1. Tener una bomba mejora la circulación de la caldera, esto provoca que el flujo sea más constante, y no se tiene inestabilidad y dificultades a las altas presiones como en la circulación natural; 2. Al generar una velocidad homogénea con la bomba, se puede circular mejor el vapor y el agua aumentando la eficiencia, eso reduce notoriamente las dimensiones y altura del generador por lo que el diseñador del GV tiene mayor libertad en la localización de los componentes; 3. En base a lo anterior se pueden usar tubos más pequeños, de menor peso, reduciendo espacio de montaje y costos; 4. Estas calderas proporcionan un calentamiento rápido y enfriamiento en periodos cortos de tiempo; 5. Al tener una presión constante, se permite una velocidad adecuada entre la mezcla de vapor y agua lo que facilita su separación, obteniéndose vapor de alta calidad; 6. Al ser cortos los periodos de calentamiento y enfriamiento, se obtienen menor duración en los tiempos muertos; 8. Al ser la temperatura constante durante el periodo de trabajo con carga, se reducen los esfuerzos y el sobrecalentamiento, propiciando que el calentamiento sea rápido y con enfriamiento muy corto, así se minimiza el tiempo muerto y también se reduce el diferencial de expansiones, lo que permite facilidad y seguridad en la construcción al permitir que las paredes del fogón puedan ser placas de acero

soldadas; 9. El diseño es práctico, ya que al abarcar menor espacio se puede diseñar de manera horizontal generando gran adaptabilidad en espacios pequeños, facilitando las condiciones estructurales, lo cual permite mayor superficie de calefacción; 10. Como hay circulación de agua en el arranque, antes de que el fuego sea aplicado, se logran la eliminación de zonas calientes y frías, es decir, hay un calentamiento uniforme; 11. En plena carga la temperatura del vapor continua constante; 12. La Circulación forzada no depende de la presión ni de la temperatura, así que el GV puede ser modificado para trabajar bajo otras condiciones a las estipuladas. Este tipo es muy versátil, porque puede dar eficiencia, aunque los valores de diseño se modifiquen, por lo general estos vienen con un seguro para trabajar a 7 kg/cm^2 , pero puede ser modificado según la demanda, permaneciendo el vapor de calidad.

1.3.2.2 DESVENTAJAS

Los GV de Circulación Forzada dan gran cantidad de ventajas como se ha mencionado, pero pueden ser anuladas por las desventajas siguientes (Shields, 1965; p. 93):

1. Almacenamiento deficiente
2. Bombeo
3. Equipo auxiliar
4. Inestabilidad
5. Control automático
6. Bombas adicionales
7. Pureza del agua de alimentación
8. Diseño complicado
9. Complicaciones en el manejo

A pesar de la existencia de estos detrimentos se puede tener solución con equipos adicionales o con mejoras de diseño. En estos puntos hay varias causas que generan una merma en el equipo, como por ejemplo, 1. Por la falta de capacidad de almacenamiento de agua en la caldera, se requiere de la instalación de

almacenamiento en el sistema de alimentación; 2. El bombeo requiere fuerza y en ocasiones se necesita fuerza auxiliar; 3. Existen complicaciones en el diseño de equipo auxiliar, ya que las condiciones de presión y temperatura pueden sellar los empaques de las bombas; 4. Al haber poca capacidad de agua de almacenamiento se produce inestabilidad y por lo tanto fluctuaciones de la carga; 5. Para manipular las fluctuaciones lo recomendable es tener un control automático para facilitar la operación, los cuales son costosos; 6. Se requieren bombas auxiliares para dar bombeo adicional, lo que se traduce en costos y mayor operación en la alimentación; 7. Los tubos de la caldera deben permanecer libres de adherencia, por lo tanto se deben eliminar las impurezas del agua de alimentación, algo que es recomendable en la mayoría de calderas; 8. A causa de tantos detalles, es complicado el diseño y la construcción, así como en el manejo, operación y mantenimiento; 9. La operación y mantenimiento en las calderas de circulación forzada es más difícil a las de circulación natural, así que el operador requiere una preparación diferente para su manejo.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LA NECESIDAD DE UN MANUAL SINTETIZADO PARA OPERACIÓN

2.1 NECESIDAD DE APOYO PARA LOS OPERADORES DEL GENERADOR DE VAPOR Y CAPACITACIÓN

En la FES Zaragoza campus II se cuenta con dos técnicos, ellos son los encargados del correcto funcionamiento del equipo del laboratorio de ingeniería química y el cuarto de máquinas. Los técnicos cuentan con una jornada de trabajo de 8 horas, y cada uno trabaja en distinto turno para que siempre haya un responsable del equipo. Dentro de sus actividades, son encargados del Generador de Vapor Clayton EO60, así que tienen la función de suministrar vapor para las distintas prácticas de la carrera de Ingeniería Química.

Para la prestación del servicio de vapor de esta facultad, se debe realizar una solicitud previa con los técnicos del laboratorio de química. Con ello en el día de la práctica, deben presentarse en tiempo y forma el profesor con los alumnos que solicitan el servicio en el laboratorio, para que el técnico pueda encender el GV con la intención de ahorrar energía y combustible. Pero como cada técnico está en turnos distintos, si alguno de los dos se llegara a ausentar por enfermedad o por otras razones, las prácticas y actividades de los alumnos se verían afectadas, porque las prácticas están establecidas en un calendario y es posible que ya no se logren realizar posteriormente.

El procedimiento que utiliza el técnico del turno vespertino, es una técnica que ha sido enseñada por generaciones de técnicos de la FES Zaragoza, es decir, el técnico aprendió el procedimiento por su antecesor, y su antecesor lo aprendió de otro trabajador anterior a éste. Ante esa circunstancia se determinó, que al no haber documentos que respalden este método, no se asegura su fiabilidad, además de que puede haber una distorsión de la información, en donde se salten pasos o se hagan modificaciones que afecten al Generador.

Solo uno de los dos técnicos, ha recibido un curso por la marca Clayton, este trabajador del turno matutino fue capacitado con un generador EO100 y con ello adaptó el conocimiento adquirido al funcionamiento del generador de la FES Zaragoza EO60. Es por eso que cuenta con un procedimiento propio de arranque y paro del generador, esto propicia que por las distintas capacitaciones cada técnico tenga procedimientos un tanto diferentes.

El método que realiza el técnico, se puede optimizar con los documentos adecuados, para mejorar el control y la calidad del funcionamiento del equipo. Por ejemplo, este procedimiento no cuenta con hojas de verificación y eso puede propiciar a que se olvide abrir o cerrar alguna válvula, y que el funcionamiento del GV presente problemas.

Para cumplir con una operación adecuada del GV y mejorar el rendimiento del equipo, se comparó y analizó paso a paso en una tabla comparativa (véase en el Anexo sección E) cada uno de los procedimientos utilizados, es decir, para la obtención de un Nuevo Manual se estudiaron los procedimientos del técnico del turno matutino y vespertino, el Manual General de Clayton, el Manual del Modelo EO60 de Clayton y el usado en la FES Aragón también para un modelo EO60.

Para establecer el Nuevo del Manual de procedimientos, se unificó el arranque y paro, así ambos técnicos estarán en concordancia con un método eficaz para el correcto funcionamiento del GV. Además, en caso de que alguno de ellos cambie de área y se incorpore un nuevo trabajador para el uso del equipo, se podrá tener una capacitación efectiva y fácil con el Nuevo Manual para asegurar que realice su trabajo de manera plena.

Con el Nuevo Manual se tienen más ventajas, como, por ejemplo, cualquier persona que requiera el servicio de vapor sin importar que sea técnico, podrá realizar el arranque y paro de manera fácil y eficaz, desde encargados del laboratorio, profesores, alumnos o cualquiera que requiera de este servicio. Con ello, las prácticas del laboratorio de química en las que se requiera vapor, podrán ser realizadas en tiempo y forma.

Además, con el propósito de mejorar la comunicación de los operadores y realizar una supervisión del trabajo realizado por parte de los encargados de la Planta Piloto, se realizó una Bitácora y Hojas de verificación, con estos formatos se facilitará el uso y dará la información necesaria sobre las operaciones previas del GV, es decir, todo lo relacionado con el equipo estará documentado de manera física y cualquier persona que lo use sabrá en qué condiciones se encuentra.

El uso del GV en la FES Zaragoza, ocurre en periodos largos de tiempo debido a la calendarización de las prácticas de 6° y 7° semestre. Esto puede tener problemas de comunicación, seguridad, mantenimiento, supervisión e inspección, es por ello, que el

Nuevo Manual fomenta la planeación al tener documentos que respalden y den ayuda en los procedimientos, es decir, se mejora la administración del presupuesto y mantenimiento del equipo, así como la integridad del equipo en los problemas que surjan para evitar la generación de incrustación, fugas de agua, fugas de vapor, entre otras cosas.

Es importante mencionar que para realizar los nuevos paros del GV EO60, se proponen paros sencillos y eficientes diseñados específicamente para la necesidad de la FES Zaragoza, como son los **paros al final de la jornada**, que sirven para dar apagado al GV en el momento de concluir las prácticas del laboratorio, nulificando la presión de vapor y la alimentación de agua, lo cual dejará los equipos listos para su próximo uso. También existen los **paros momentáneos**, a este tipo de apagado se le denomina así porque es un paro en el que se conservan las variables estables, con la intención de hacer otras actividades simultáneamente sin descuidar los niveles de presión del GV, por ejemplo, en la FES Aragón se emplean los paros momentáneos para hacer pausas y explicar a los estudiantes sobre las características del Generador y las fases del Ciclo Rankine.

2.2 CANTIDADES MÁXIMAS DE VAPOR REQUERIDO POR EQUIPO Y TOTAL

Los equipos que se utilizan en el laboratorio de química son diversos y realizan distintas funciones con vapor para la realización de las prácticas de ingeniería química de sexto y séptimo semestre, las cuales son: Análisis de un sistema de intercambio de calor (vidrio), Análisis de un sistema de intercambiado de calor (metal) (FES Zaragoza UNAM, Manual de laboratorio y taller de proyectos de 6° semestre; 2016), Análisis de una torre de enfriamiento y Arranque y operación de un sistema de destilación (metal) (FES Zaragoza UNAM, Manual de laboratorio y taller de proyectos de 7° semestre; 2016). Para ello, las unidades con las que se trabaja son: un intercambiador de vidrio, un intercambiador de metal de tubos concéntricos, un intercambiador de metal de tubos y coraza, una torre de enfriamiento y el sistema de destilación de metal.

En la primera práctica que realizan los estudiantes, utilizan el Intercambiador de calor fabricado con vidrio (Figura 2.4), éste utiliza de manera conjunta un condensador,

para obtener experimentalmente los coeficientes de transferencia de calor del equipo y el global de transferencia de calor con respecto al número de Reynolds, con la intención de que se comparen los datos experimentales con los que se prescribe con la teoría.



Figura 2.4 Intercambiador de vidrio de la FES Zaragoza

Igual que en el sexto semestre de Ingeniería Química, con los intercambiadores de calor fabricados con metal (Figuras 2.5 y 2.6) se calculan los coeficientes de transferencia de calor de esos equipos, se analizan las variables de operación de diseño y se hacen balances de energía.



Figura 2.5. Intercambiador de metal de tubos concéntricos de la FES Zaragoza



Figura 2.1. Intercambiador de metal de tubos y coraza de la FES Zaragoza

Un referente para las prácticas de séptimo semestre es la torre de enfriamiento (Figura 2.7), con este equipo se analiza su operación en distintas condiciones de alimentación de agua y aire, evaluando los efectos de operación.



Figura 2.7 Torre de enfriamiento de la FES Zaragoza

En la última de las practicas con vapor, se utiliza el sistema de destilación fabricado con metal (Figura 2.8), para ello los alumnos aprenden a utilizar el equipo y familiarizarse operando el sistema para separar una mezcla de etanol – agua, también analizan la pureza de los productos de domos y de fondos.



Figura 2.8 Sistema de destilación de metal de la FES Zaragoza

Como se logra observar, todos los equipos mencionados trabajan con vapor y cada proceso lo utiliza como base. Por ejemplo, los intercambiadores de calor utilizan el vapor para calentar por medio de la conducción y convección, de esta manera se realiza la transferencia de calor para que de manera práctica los alumnos calculen los coeficientes de transferencia. Es de vital importancia este servicio y para ello el Generador debe estar en buenas condiciones, para poder dar el requerimiento necesario de flujo másico.

Para determinar las cantidades de vapor por equipo y cantidades máximas requeridas, se conoce el consumo de vapor del intercambiador de vidrio, que es de 15.3 kg/hr. (FES Zaragoza UNAM, Manual de laboratorio y taller de proyectos de 6° semestre; 2016).

Suponiendo que los cinco equipos del laboratorio de química de la Planta Piloto, funcionen con un flujo de vapor igual o similar y que todos se ocupen en el mismo momento, el flujo másico o flujo de vapor requerido será de 76.5 kg/hr. El valor es muy inferior en comparación al flujo que puede proporcionar el GV EO60, porque apenas es el 8.15% de la capacidad total del flujo de vapor, la cual es de 938.9 kg/hr. Inclusive, en caso de que el Generador de vapor por alguna cuestión mínima de incrustación merme su rendimiento, aún se tendrá una eficiencia aceptable cumpliendo con los valores de la demanda de vapor requerida y en caso de que llegase a existir esa incrustación, se determinará de manera temprana con los documentos propuestos en el Nuevo Manual de operación.

2.3 CAÍDAS DE PRESIÓN Y FLUJO DE VAPOR EN REQUERIMIENTO MÁXIMO

El Generador de Vapor al alcanzar la estabilidad trabaja con una presión de vapor de 7 kg/cm², que es la presión máxima estipulada de fábrica a la que funcionan las calderas Clayton de 60 caballos de potencia (Clayton de México, 2005). La sobrepresión no es algún inconveniente, en caso de que llegará a subir la presión de vapor por encima del valor de 8 kg/cm² y la temperatura llegué a 205°C en el serpentín por alguna situación, los sensores de seguridad lo detectarán y se activarán los distintos dispositivos para disminuir esos valores, o para apagar el equipo dependiendo el caso.

En el laboratorio de química de la Planta Piloto (Figura 2.9), por cuestiones de planeación de las prácticas, cuando se trabaja con vapor solo se utiliza un equipo para ser alimentado, son pocos los casos en los que se manipulan más equipos dependiendo si ha ocurrido demora en algunas prácticas. Eso significa que esporádicamente aumenta de manera significativa la demanda de vapor, lo cual podría mermar el rendimiento de los equipos. Es decir, es esencial que la presión no caiga porque también bajaría la temperatura, ocasionando que a 4.3 kg/cm^2 deje de funcionar la trampa de vapor o que se activen los dispositivos de seguridad para apagar el Generador cuando la intención es asegurar las condiciones de plena carga estables.

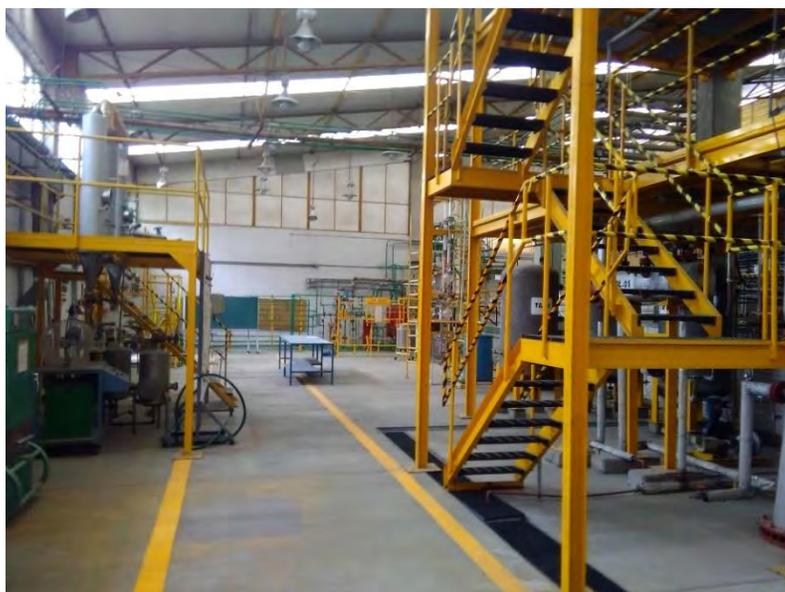


Figura 2.9 Laboratorio de ingeniería química de la Planta Piloto

Para ello se tienen distintas soluciones, una de ellas es el uso del sistema automático, que es una característica muy importante del GV EO60 de la FES Zaragoza.

En el encendido del equipo, siempre al arrancar se debe colocar el interruptor (7) de fuego bajo/ fuego bajo - fuego alto, a **fuego bajo**, pero dependiendo la demanda de vapor se puede modificar la posición del interruptor. Es decir, cuando en el laboratorio hay poca demanda de vapor el interruptor se puede mantener en **fuego bajo**, ya que la necesidad de vapor es baja.

Pero en caso de que los equipos del laboratorio requieran mayor presión de alimentación, se recomienda que después de encender el GV y alcance la estabilidad, se

coloque **el interruptor (7)** de fuego bajo/ fuego bajo- fuego alto, a **fuego bajo- fuego alto**, esto activará el funcionamiento automático, que responde de manera autónoma cuando hay poca y alta demanda de vapor. Cuando se utilice un equipo o más en el laboratorio de química el GV detectará el requerimiento del flujo y trabajará sin caídas de presión, alimentando eficientemente a cada equipo.

Otra solución al problema de la demanda de vapor, es realizar el cambio del interruptor (7) de manera manual al observar la demanda de vapor. Así que, para saber que se requiere mayor alimentación de vapor, en el tablero de control específicamente en el Manómetro de presión de vapor (1) se verá una caída, es decir, en lugar de marcar 7 kg/cm^2 se mostrará una presión menor, lo cual podría apagar el GV y detener completamente el procedimiento de las prácticas. Debido a esto se requiere mayor supervisión cuando se coloca a solo fuego bajo, porque cualquier distracción podría ser mala para el rendimiento del equipo, así que para evitar tales inconvenientes es recomendable el sistema automático.

Cualquier de las dos soluciones es viable, porque cumplen con la función de alimentar vapor con proporción a la demanda, además aseguran la seguridad de su funcionamiento porque requieren de la supervisión de un encargado durante toda su marcha. Cabe destacar que aun así pueden haber caídas de presión, porque mientras más equipos trabajen en el mismo lapso se requerida mayor flujo de vapor, todo dependerá del mantenimiento y estado con el que se trabaja el GV, así como de la correcta operación manual y automática del equipo.

CAPÍTULO 3

RECONOCIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

3.1 DESCRIPCIÓN

La FES Zaragoza cuenta con tres campos, dos en la Ciudad de México y uno en el estado de Tlaxcala, en los cuales se distribuyen las actividades de las distintas carreras del área químico - biológicas.

El Campus II, se encuentra en Batalla 5 de mayo s/n esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa C.P. 09230, Ciudad de México (véase Figura 3.10). En éste se imparte la carrera de ingeniería química, y se realizan clases de manera teórica y práctica. La Planta Piloto del Campus II, es donde se tiene el equipo necesario para la realización de las prácticas de química, este lugar está dividido en salones, oficinas, laboratorio de ingeniería química y cuarto de máquinas.



Figura 3.10 Ubicación de la FES Zaragoza Campus I y II
Fuente: Google Maps

El cuarto de máquinas tiene distintos equipos que alimentan el laboratorio de ingeniería química, como compresores, tanques de agua, tanques de combustible y el Generador de Vapor.

El Generador de Vapor con el que se cuenta es de la marca Clayton, la cual es una empresa que también es distribuidora de un GV para la FES Aragón. Él de Zaragoza, es un modelo reciente que funciona con diésel y tiene 60 caballos de fuerza (o caballos caldera), es decir, EO60.

Los equipos del GV trabajan con el fin de facilitar la transferencia de calor, ya que esta transferencia es el principio para su funcionamiento, así que a continuación se mencionan los componentes conforme al flujo de agua y al cambio de estado:

1. Tubería de alimentación
2. Tanque suavizador
3. Tanque de condensados
4. Bomba auxiliar
5. Bomba de suministro de agua
6. Tubería del Generador de Vapor
7. Tablero
8. Generador de Vapor
9. Separador de vapor
10. Trampa de vapor
11. Tubería de servicio

La Tubería de Alimentación, es la que se encarga de distribuir el agua dura al Tanque Suavizador. Como en esta tubería no se manejan presiones altas, la cedula no requiere ser como la del GV, ya que solo es para desplazar condensado a temperatura ambiente. El Tanque Suavizador se encuentra en ese sector, sus elementos son el tanque de salmuera, el control automático y una válvula automática electromecánica de 5 vías.

El Tanque Suavizador (Figura 3.11) es de la capacidad de 50 GPM, es de la mitad de tamaño al de la FES Aragón, y es suministrado por Clayton; el tanque está conectado a una Válvula de Prueba (Vp) para corroborar que el agua que distribuye es agua suave y que la alimentación al Tanque de Condensados es la correcta.



Figura 3.11 Tanque suavizador

El Tanque de Condensados (véase Figura 3.12) cumple la función de almacenar el agua suave, para ser administrada después por toda la tubería del GV y finalmente retroalimentar la unidad de calentamiento. El tanque cuenta con un nivel de agua para verificar que trabaje con más del 50% de su capacidad, también tiene una electroválvula con la que es alimentado, un termómetro que marca la temperatura (la cual no debe sobrepasar los 90°C porque aumentaría la presión y el agua solo sería vapor), además cuenta con una chimenea a la atmosfera para liberar la presión que llegue a generarse en él cuándo se retorne condensado.



Figura 3.12 Tanque de condensados

Después del Tanque de condensados la siguiente etapa de traslado es la Tubería del Generador de Vapor, la cual tiene flujo de agua líquida en la entrada y a la

salida vapor con condensado. Esta tubería cuenta con varios elementos como se puede observar en la Figura 3.13, los cuales son: una Bomba de Agua, una Bomba Auxiliar, una válvula de alivio (renombrada como Válvula de SEGURIDAD), un amortiguador de alimentación, un amortiguador de descarga, un interruptor de nivel de aceite, una válvula reguladora de combustible (renombrada como Válvula de control de presión), un manómetro para medir la presión del combustible y una Válvula de Prueba.

Los GV tipo LaMont, son de Circulación forzada y sus tuberías son de un tamaño menor a las de Circulación natural, es por ello que, para vencer cualquier resistencia del flujo, poder circular y recircular fácilmente el agua líquida por todo el circuito es necesario el uso de bombas de agua. Estas son conformadas por una Bomba Principal de 60 Hz y una la Bomba de Auxiliar.

La Válvula de SEGURIDAD ayuda en casos de sobrepresión, es decir, cuando se eleva demasiado la presión, esta válvula se abre para liberar vapor y reducir los niveles de presión evitando que se abra y dañe en cualquier punto la tubería. Con ello, se aumenta la seguridad del equipo y del operador, y se disminuyen los paros automáticos. Los amortiguadores reducen en esta zona las vibraciones y evitan el golpe de ariete.

La Válvula de Prueba (Vp) realiza varias funciones, como verificar que hay flujo de agua y para la realización de la prueba de sulfitos. Esta prueba ayuda a comprobar la cantidad de sulfitos en el agua usada, y para su realización es necesario utilizar el condensado de la línea de la Tubería del GV, porque el agua recircula por el sistema y regresa a este punto, con ello el líquido aumenta de temperatura por el calor y la reacción libera los sulfitos. Es decir, debe realizarse la prueba cuando la temperatura en este punto alcance los 70°C.



Figura 3.13 Tubería del Generador de Vapor

El GV es un equipo que trabaja con presiones, volúmenes, temperatura y entropía distintos en cada etapa debido a que su principio es la transferencia de calor. Así que, para dar eficiencia al sistema, seguridad al operador y un buen control, se cuenta con un Tablero. Éste cuenta con un manómetro de presión de vapor, un manómetro de presión alimentación del agua, un manómetro de presión de la trampa de vapor, indicadores para el estado del motor, para la presión del aire, también indicadores para el quemador y las protecciones de seguridad, además cuenta con un control digital para la temperatura del serpentín y distintos interruptores que ayudan al encendido, apagado y etapas de funcionamiento del equipo.

El Tablero ha sido diseñado lo más claro posible para darle facilidad de uso al operador, ya que la visualización de éste es fundamental para el correcto funcionamiento del GV, porque la interpretación va ligada a la manipulación de las válvulas o controles de vapor. También dentro del armazón del Tablero se encuentran las cajas de controles, canaletas de cableado, contactor magnético del motor del ventilador y del motor de la bomba, los relevadores térmicos, un block terminal, el control ESC (Control electrónico de seguridad), el control WFTC (Control de temperatura contra falla del agua), el interruptor de la bomba auxiliar, entre otros componentes que comprenden el cerebro electrónico del Generador.

El Generador de Vapor como se muestra en la Figura 3.14, tiene una sección exterior e interior; en la parte exterior se puede visualizar una placa de acero con forma de cilindro conectada a la tubería del GV y a una chimenea. En el interior, el agua fluye por las tuberías de las paredes y después va a los tubos de convección. Estos tubos son en donde se produce la transferencia de calor por convección, y son mejor conocidos por su forma circular que tienen, como “Serpentín”. Como se ha mencionado, el Tablero cuenta con un display en donde se refleja la temperatura del serpentín, eso se debe a que esta tubería tiene un termocople en contacto con la flama del quemador.

La unidad de calentamiento comprende el sistema de combustible, los inyectores con sus electrodos, y los quemadores de fuego bajo y alto. Es decir, el sistema traslada por medio de los inyectores el combustible, en donde llega al quemador y de allí es expulsado en forma de abanico por una esprea sobre los electrodos, que al generar una chispa eléctrica y en contacto con el diésel, se produce la combustión. De esta forma la

flama tiene contacto con el serpentín, generando el calor deseado para obtener vapor de agua.



*Figura 3.14 Generador de Vapor,
modelo: EO60 Clayton*

El agua en fase líquida al finalizar su viaje por el serpentín, cambia a vapor de agua por medio de la radiación del calor, pero en algún punto de la tubería por pérdidas de radiación el vapor condensará y se tendrá una mezcla de vapor y agua líquida saturada, para ello este fluido llega al Separador de Vapor. Pero como en la alimentación solo se requiere vapor, el Separador de Vapor hará una separación efectiva de la mezcla que aún no cambia de fase y que sigue siendo líquida.

Para cumplir la función del Separador de Vapor, una serie de tuberías transporta la mezcla de vapor-líquido a la Trampa de Vapor, así el líquido retorna al Tanque de Condensados para su recirculación por todo el sistema, y el vapor generado es dirigido a la Tubería de Servicio. El retornar es característico de estas calderas, con el fin de favorecer el aumento en la temperatura del agua, un mejor aprovechamiento del calor, y mayor generación de vapor. Además, para facilitar el control del flujo el Separador de Vapor cuenta con varios elementos como válvulas de globo, Válvula de seguridad, Trampa de Vapor, y un termómetro de 0-400°C.

Al haber acumulación de agua condensada y al entrar en contacto con el vapor en la misma tubería, se produce un fenómeno llamado Golpe de Ariete, esto significa que por la diferencia de presiones y temperaturas el vapor mueve y levanta la superficie del agua, generando turbulencia y olas, que al romper dispersan gotas en el flujo de vapor otorgando a éste humedad, también se reduce la transmisión de calor y se disminuye la vida útil de las válvulas de control.

La Trampa de Vapor es una válvula automática, se encuentra instalada a continuación del Separador de Vapor. La Trampa apoya en el problema del Golpe de Ariete, ya que ésta evacua la humedad suspendida en el vapor, o sea, evacua las gotas en las paredes de la tubería. También “saca el condensado, aire y CO₂ del sistema tan rápido como se empieza a acumular. Asimismo, ofrece: pérdida mínima de vapor, larga vida y servicio seguro, resistencia a la corrosión, venteo del aire, venteo del CO₂, funcionamiento con contrapresión y libre de problemas por suciedad.” (Armstrong, 1998; p. 8-9). Para esas funciones la FES Zaragoza utiliza una Trampa de 20% de retorno al Tanque de Condensados, como su capacidad es pequeña es ideal para el uso moderado de vapor.

Entonces, después de que el Separador realiza su trabajo, el vapor es dirigido a la Tubería de Servicio, esta tubería no la instaló Clayton, pero la suministró la FES Zaragoza de acuerdo a sus necesidades y sus equipos, porque cumple con la función particular de alimentar los distintos aparatos en el laboratorio de química para las prácticas de ingeniería.

3.2 CONTEO DE ELEMENTOS PARA CONTROL DE FLUJO

El GV cuenta con varias válvulas para control de flujo. Estas válvulas son del tipo de compuerta, de bola, de aguja, de asiento plano, y check.

Las válvulas fueron nombradas y etiquetadas para su mejor identificación en el cuarto de máquinas, con el fin de que la persona que necesite utilizar el GV tome las **Tablas de verificación**, y vaya palomeando mientras se ejecuta la supervisión. Con ello todos los elementos de control estarán en correcta posición, para que el agua, el vapor y el combustible puedan fluir por el equipo brindando un correcto uso y seguridad.

Es importante conocer el significado de los términos, porque favorece la identificación de los elementos del equipo y en caso de mantenimiento esto facilita la manipulación; para ello se muestra en la siguiente **Nomenclatura**:

Nomenclatura 3.1 Nombre de los términos

| | |
|-----------------------------------|--|
| ➤ F: Filtro de combustible | ➤ Vc: Válvula de combustible |
| ➤ V1: Válvula #1 | ➤ Vcp: Válvula de control de presión |
| ➤ V2: Válvula #2 | ➤ Vda: Válvula de drenado de agua |
| ➤ V3: Válvula #3 | ➤ Vdescarga: Válvula de descarga |
| ➤ V4: Válvula #4 | ➤ Vdeshollinadora: Válvula deshollinadora |
| ➤ V5: Válvula #5 | ➤ Vdv: Válvula de drenado de vapor |
| ➤ V6: Válvula #6 | ➤ Vi: Válvula de inspección |
| ➤ V7: Válvula #7 | ➤ Vrc: Válvula de retorno de condensados |
| ➤ V8: Válvula #8 | ➤ VSEG: Válvula de seguridad |
| ➤ V9: Válvula #9 | ➤ Vsa: Válvula solenoide alta presión |
| ➤ V10: Válvula #10 | ➤ Vsb: Válvula solenoide baja presión |
| ➤ V11: Válvula #11 | ➤ Vp: Válvula de prueba |
| ➤ V12: Válvula #12 | ➤ Vx: Válvula cerrada |
| ➤ V13: Válvula #13 | ➤ Vy: Válvula abierta |

En la Nomenclatura 3.1 se presentan los elementos de manera alfabética, pero en las **Tablas de verificación y el diagrama hidráulico**, se respeta el orden conforme el flujo de agua. La razón del nombre de las literales, se debe a la función que realizan para el control del GV, y la numeración se debe a la admisión y salida del flujo de agua, por ejemplo, la Válvula #1 distribuye material antes que la Válvula #2, y la #2 distribuye antes que la #13. En algunas literales, se agregó una abreviatura o en su caso el nombre completo de su función.

Para mayor entendimiento, las válvulas Check no fueron tomadas dentro de esta clasificación, debido a que siempre se encuentran con la misma dirección el flujo y no es necesario manipularlas.

Para el sistema de alimentación de agua del GV se tiene la Válvula **V1** a la **V8** que transporta condensado de agua al serpentín del Generador de Vapor; las válvulas **V9** a la **V13** para alimentar con vapor de agua al laboratorio. **Vrc** retorna el agua líquida saturada que sustrajo la trampa de vapor para llevar de vuelta al tanque de condensados.

Para el drenado, se cuenta con **Vda** que desagua el residuo de condensado del serpentín del GV; con **Vdv** se drena el vapor que aún se almacena antes de apagar el equipo, ya que es importante que el generador se pare sin presión de vapor; **Vdescarga** drena la línea del tanque de condensados, para remover los sólidos disueltos, hacer pruebas de dureza, alcalinidad y sulfitos.

Para el mantenimiento y seguridad, se tiene la **Vdeshollinadora** que ayuda a realizar el proceso periódico de deshollinado; **Vi** ayuda para hacer la inspección de llenado y para detectar que el GV ha sido drenado de manera adecuada en su anterior jornada, una de sus características de ésta es que expulsa aire cuando es abierta en la verificación; **VSEG** se activa automáticamente para liberar cuando hay sobrepresión, así se evita que se desprenda la presión en alguna tubería no controlada; **Vp** apoya en las pruebas de supervisión de la calidad del agua.

Para evitar el cambio de condición de algunas válvulas se agregaron las literales "X" y "Y". **Vx** es solo para la identificación y reafirmación de que las válvulas no deben ser tocadas, ni cambiadas de la posición CERRADA; las **Vy** también deben ser respetadas, ya que deben permanecer en la posición ABIERTA.

En el sistema de combustible se cuenta con la **Vc** que alimenta con combustible al motor; **Vsa** es el solenoide que alimenta a los dos quemadores de fuego alto y el solenoide **Vsb** alimenta al quemador de fuego bajo; **Vcp** administra la mezcla eficiente de combustible y aire para el encendido de vapor, en caso de que esté completamente abierta solo se suministra aire al sistema, y al estar cerrada solo pasa combustible por ella. A continuación, en las Figuras 3.15 y 3.16 se observa el etiquetado que se realizó al GV:



Figura 3.2 Etiquetado frontal del GV



Figura 3.3 Etiquetado posterior del GV

En algunas válvulas se presenta la misma etiqueta, a causa de que varias válvulas pueden tener la misma función. Por eso es importante reconocer las etiquetas y la cantidad de cada una de ellas, para que no exista válvula sin supervisión; el saltado de alguna de ellas es una falla de control y puede ocasionar problemas en el GV, como sobrepresión, o falta de presión en algunas secciones, calentamiento, fugas de vapor, fugas de condensado, exposición de agua suave con agua dura y generación de

pág. 54

incrustación. Para tener un buen control se muestra en la Nomenclatura 3.2 la **cantidad de etiquetas** que se encuentran en el sistema:

Nomenclatura 3.1 Cantidad de etiquetas colocadas en el GV EO60 de la FES Zaragoza

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| ➤ F: Una (1) | ➤ Vc: Una (1) |
| ➤ V1: Una (1) | ➤ Vcp: Una (1) |
| ➤ V2: Una (1) | ➤ Vda: Dos (2) |
| ➤ V3: Una (1) | ➤ Vdescarga: Una (1) |
| ➤ V4: Una (1) | ➤ Vdeshollinadora: Una (1) |
| ➤ V5: Una (1) | ➤ Vdv: Dos (2) |
| ➤ V6: Una (1) | ➤ Vi: Una (1) |
| ➤ V7: Una (1) | ➤ Vrc: Una (1) |
| ➤ V8: Una (1) | ➤ VSEG: Dos (2) |
| ➤ V9: Una (1) | ➤ Vsa: Una (1) |
| ➤ V10: Una (1) | ➤ Vsb: Una (1) |
| ➤ V11: Una (1) | ➤ Vp: Dos (2) |
| ➤ V12: Una (1) | ➤ Vx: Dos (2) |
| ➤ V13: Una (1) | ➤ Vy: Cuatro (4) |

3.3 DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS

En la adquisición de un Generador de Vapor se debe ser cuidadoso en la distribución de sistemas, por la inversión y la garantía. Ya que es un equipo que no debe usarse al aire libre, especialmente debe protegerse de la humedad y cambios bruscos de temperatura. Es importante que los servicios necesarios del Generador se encuentren cerca de él, como son, combustible, agua, electricidad y ventilación. Los cuales ayudaran al buen funcionamiento y durabilidad. Por ejemplo, el correcto cuidado que se le da al GV en la FES Aragón ha propiciado un buen rendimiento y longevidad del equipo, tal es así, que éste lleva en uso más de 40 años.

Es necesario que en donde se tienen resguardos los Generadores, se cumpla con una temperatura mayor a la de congelamiento, porque el agua puede solidificarse en la tubería del GV o en la tubería de alimentación de agua. Para evitar esos

inconvenientes, en algunas centrales se utiliza aire acondicionado, en el caso de la ubicación de la FES Zaragoza que es en el lado oriente de la Ciudad de México, la temperatura no llega a la de congelación, pero aun así debe cuidarse al equipo de los cambios de temperatura o de otros aparatos que afecten su temperatura interna.

Para facilitar todos estos puntos, en la distribución de sistemas se recomienda tener un espacio ideal para el establecimiento del GV. Este espacio comúnmente es llamado Cuarto de Máquinas, y cumple con varias funciones, como son permitir la realización de trabajos de mantenimiento o reemplazo de partes de gran tamaño del Generador (como el intercambiador de calentamiento). Tal como se aprecia en la tabla 1.3, se mencionan las dimensiones ideales que debe tener un cuarto de máquinas, para otorgar un buen uso al manipular los equipos:

Tabla 1.2 Dimensiones mínimas requeridas de espacio para el Cuarto de Máquinas (Clayton, 2016; p.71)

| Frontal | Extremos | Trasera | Altura (contando la base) | Base |
|---------------|--------------|--------------|---------------------------------|-------------|
| 153 cm (60'') | 92 cm (36'') | 46 cm (18'') | 2 metros y 15 cm (85'') | 15 cm (6'') |

En la FES Zaragoza se cuenta con el espacio requerido que se menciona en la Tabla 3.1, pero se hace énfasis en este punto, porque se deben respetar estas condiciones para que en ningún momento se obstruya el paso en la manipulación que impida realizar la operación o el mantenimiento del GV.

En el cuarto de máquinas se encuentran diversos equipos como compresores, tanques, y demás equipo que alimenta el laboratorio de ingeniería química, pero hay que tener cuidado con su distribución para no afectar el espacio del Generador, especialmente para prevenir e impedir la transferencia de calor por parte de los equipos al GV y de la precaución en el manejo de reactivos químicos en ese espacio.

En la Figura 3.17 se observa el espacio, tuberías y equipos que hay en el cuarto de máquinas; además se puede cotejar que este cuarto no es exclusivo del Generador de Vapor, es por ello que se debe tener una correcta identificación de los sistemas y una buena visualización de los distintos componentes que los conforman. Para ello también



Figura 3.6 Distribución de las válvulas V1 a V5



Figura 3.7 Distribución de las válvulas V5 a V13

3.4 DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIÓN DE VAPOR

El equipo del GV abarca la mitad del espacio del cuarto de máquinas, para su funcionamiento es alimentado por un tanque de combustible que se encuentra en un patio posterior de la planta piloto. A su vez, el combustible viaja hasta los inyectores en donde junto con una chispa genera la flama del GV. Con ello se calienta el serpentín helicoidal,

generando vapor y viajando por la línea para alimentar los distintos equipos del laboratorio.

Es decir, el flujo de agua para el funcionamiento del GV es el siguiente:

1. Tubería de alimentación (agua dura en estado líquido comprimido)
2. Tanque suavizador (agua suave en estado líquido comprimido)
3. Tanque de condensados (agua suave en estado líquido comprimido)
4. Bomba auxiliar (al arranque agua suave en estado líquido comprimido, pero después de recircular cambio de fase a líquido saturado)
5. Bomba de agua (al arranque agua suave en estado líquido comprimido, pero después de recircular cambio de fase a líquido saturado)
6. Tubería de Generador de Vapor (al arranque agua suave en estado líquido comprimido, pero después de recircular cambio de fase a líquido saturado)
7. Generador de Vapor (al arranque agua suave en estado líquido comprimido, pero después de recircular cambio de fase a líquido saturado)
8. Separador de Vapor (mezcla entre líquido saturado y vapor saturado)
9. Trampa de vapor (mezcla entre líquido saturado y vapor saturado)
10. Tubería de servicio (vapor saturado)

Para una mejor visualización del flujo de agua, en la Figura 3.21 se muestra la distribución de los equipos de alimentación de agua y en la Figura 3.22 la distribución de los elementos para la generación de vapor:



Figura 3.8 Distribución de los equipos de alimentación



Figura 3.9 Distribución de los elementos para generación de vapor

Como se ha observado el GV en sus distintos componentes conserva diferentes estados del agua, y con la finalidad de aprovechar la energía y generación de vapor, se recircula el condensado para que en un mayor porcentaje el agua cambie de estado. Es decir, las unidades donde se genera el vapor saturado son a partir del serpentín del Generador de Vapor, después la Tubería del Generador de Vapor recircula el agua al serpentín y dirige la mezcla al Separador de Vapor, donde la Trampa de Vapor envía el

vapor a la Tubería de Servicio y el condensado restante al Tanque de Condensados donde se reinicia el ciclo.

3.4.1 AGUA DE ALIMENTACIÓN

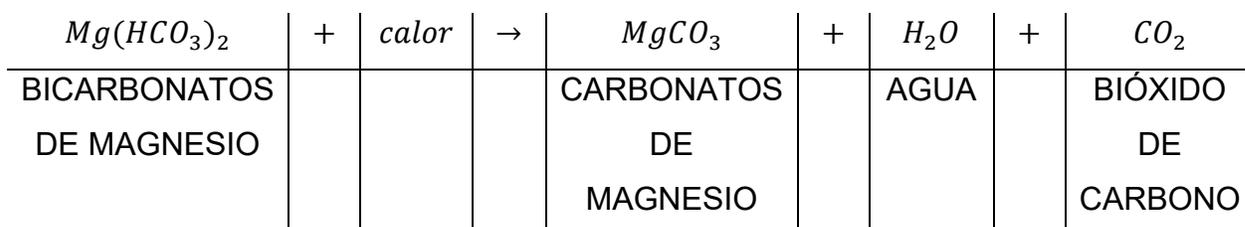
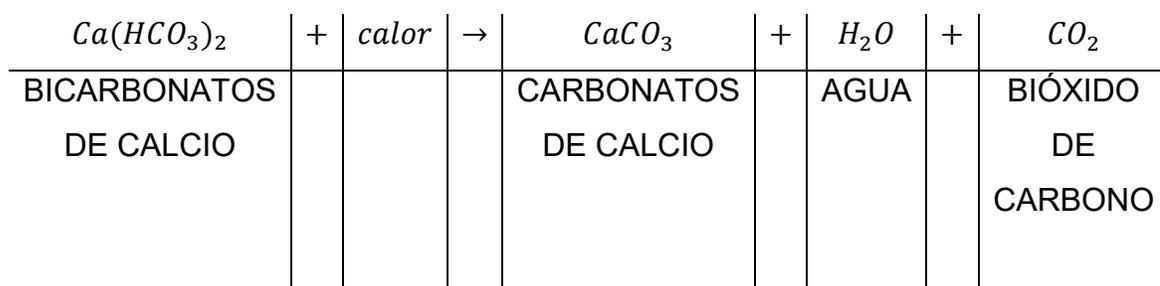
El agua en la naturaleza, como en ríos, lagos y mantos acuíferos, está en contacto con grava, arena y piedras, las cuales se combinan con el agua permitiendo la existencia de impurezas, sales y gases, algunos disueltos y otros en suspensión. El agua de la red o agua dura, principalmente contiene iones de Calcio y Magnesio disueltos, en un GV el agua cambia de estado hasta la obtención de vapor, lo que significa que en esa fase las moléculas de vapor están a mayor distancia y con ello se liberan con facilidad las impurezas, lo que facilita la precipitación de las sales minerales que terminan depositadas en la superficie de las tuberías, a este proceso se le conoce como incrustación. Así que para ser utilizada el agua por el GV debe cumplir requisitos de calidad, para que haya eficiencia en el sistema. A continuación, se presentan las sales más comunes que se encuentran disueltas en el agua:

Nomenclatura 3.3. Sales más comunes (Clayton, 2016; p. 25)

| CATIONES (+) | ANIONES (-) |
|---------------|----------------------------------|
| Calcio (Ca) | Sulfatos (SO ₄) |
| Magnesio (Mg) | Nitratos (NO ₃) |
| Sodio (Na) | Bicarbonatos (HCO ₃) |
| | Cloruros (Cl) |
| | Sílice (SiO ₂) |

En términos químicos, la incrustación es “el decremento de la solubilidad de algunas sales minerales, principalmente de calcio y magnesio” (Clayton, 2018; p. 3). Tal como se aprecia en la Reacción 3.2, hay elementos químicos que contribuyen en la generación de incrustación:

Reacción 3.1 Generación de incrustación (Clayton, 2018; p. 3)



La incrustación tapa las tuberías reduciendo el diámetro interno o en otros casos ocasiona obstrucción total, también actúa como un aislante térmico que puede impedir la transferencia de calor hacia el agua, eso genera sobrecalentamiento y alta presión en algunas zonas del equipo disminuyendo la eficiencia del sistema, por lo que incrementa el consumo de diésel. En la Tabla 3.2 se observa, la relación de incrustación, pérdida de eficiencia y desperdicio de combustible.

Tabla 3.2. Exceso de combustible consumido con base a la incrustación formada (Clayton, 2018; p. 4)

| ESPESOR DE INCRUSTACIÓN (pulg) | PERDIDA DE EFICIENCIA (%) | DESPERDICIO DE COMBUSTIBLE POR CADA 1000 LITROS |
|-----------------------------------|------------------------------|---|
| 1/64 | 4 | 40 |
| 1/32 | 7 | 70 |
| 1/16 | 11 | 110 |
| 1/8 | 18 | 180 |
| 3/16 | 27 | 270 |
| 1/4 | 38 | 380 |
| 3/8 | 48 | 480 |
| 1/2 | 60 | 600 |
| 5/8 | 74 | 740 |
| 3/4 | 90 | 900 |

Como se ha mencionado en el Capítulo 1, el agua de la red (agua dura) es transportada hacia el tanque suavizador, el cual tiene un tanque con resina Catiónica o Zeolítica, que hace la función de suavizar el agua por medio de un intercambio de iones o ionización, es decir, al producirse este proceso se intercambian los iones de Sodio de la resina y los iones de Calcio y Magnesio, obteniéndose agua suave. Además, para dar soporte a la resina, hay un lecho de grava que actúa también como filtro.

Como se observa en la Tabla 3.3, se aprecian los componentes químicos presentes en los distintos tipos de agua.

*Tabla 3.3 Diferencia química entre Aguas Duras y Aguas Suaves
Fuente: (Clayton, 2018; p. 2)*

| AGUAS DURAS | |
|------------------------------------|-------------------------|
| NOMENCLATURA | NOMBRE |
| CaCO ₃ | Carbonato de Calcio |
| MgCO ₃ | Carbonato de Magnesio |
| Ca(HCO ₃) ₂ | Bicarbonato de Calcio |
| Mg(HCO ₃) ₂ | Bicarbonato de Magnesio |
| MgSO ₄ | Sulfato de Magnesio |
| AGUAS SUAVES | |
| NOMENCLATURA | NOMBRE |
| NaCl | Cloruro de Sodio |
| Na(HCO ₃) ₂ | Bicarbonato de Sodio |

Por testimonio de los trabajadores del laboratorio de química, se recabó la información, que el agua de la subestación que alimenta a la FES Zaragoza es de mala calidad, debido a que el agua presenta un color verdoso, además cuando se almacena en un largo lapso de tiempo ésta presenta mal olor. Eso evidentemente debe ser tratado, porque el contacto directo con el GV dañaría principalmente el serpentín y la tubería, generando inconvenientes mayúsculos, como la falla total del sistema y de la reparación de los equipos, que generalmente se les da mantenimiento por medio de la compañía Clayton. Lo ideal es, que funcionen correctamente los equipos y evitar mantenimientos no programados.

Para darle solución a ello, se recomienda el uso del suavizador o que se adquiriera otro tanque suavizador para esa tarea, lo que evitaría que esa agua dura que a simple vista tiene gran cantidad de impurezas dañe cualquier componente del sistema. Lo cual se mencionó y se hizo la sugerencia a los trabajadores, para el uso de agua suave en los distintos equipos del laboratorio, específicamente donde se almacena agua y se produzcan intercambios térmicos.

3.4.2 TRATAMIENTO QUÍMICO

El agua suave obtenida del suavizador presenta características importantes, como la presencia aun de algunos sólidos y gases disueltos, además de condiciones ácidas y causticas comunes del agua por su pH entre 7 y 8 que a altas temperaturas puede acelerar el proceso de la corrosión en la tubería del GV. Los principales factores que causan la corrosión son el Oxígeno disuelto, el bajo pH del agua y la presencia de Ácido Carbónico.

Todo ello obliga a que se realice un tratamiento químico, es importante recordar que se debe circular agua de calidad por el GV para evitar incrustación en la tubería o cualquier otra falla que merme el rendimiento del sistema. Por ello, en la Tabla 3.4, se hace mención especial de los problemas que se deben evitar con el tratamiento:

Tabla 3.4 Problemas asociados con el agua de alimentación (Clayton, 2018; p.3)

| PROBLEMAS BÁSICOS | SOLUCIÓN GENERAL |
|----------------------------|---|
| Incrustaciones o Depósitos | Tratamiento Externo (Suavizador de Agua) |
| Corrosión | Tratamiento Interno (Productos Químicos) |
| Arrastres | Purgas (de Sólidos Disueltos Totales y en suspensión) |

El Tratamiento químico, tiene como objetivo proteger al equipo contra corrosión, mediante la mejora de la calidad y con el cumplimiento de los límites adecuados del agua. Existen “dos causas principales, para la formación de sarro y para la corrosión, son el bióxido de carbono (CO_2) y oxígeno [...] El ácido carbónico es extremadamente corrosivo y puede comerse las tuberías y los intercambiadores de calor” (Armstrong, 1998; p. 8-9). Este tratamiento se lleva a cabo por la aplicación de productos químicos que regulan los

parámetros, en el caso particular de los GV de las FES Zaragoza y Aragón se utilizan químicos de la marca Clayton, pero cada marca tiene los suyos. En la Tabla 3.5, se mencionan los límites para la calidad del agua para cumplir con un buen cuidado del Generador.

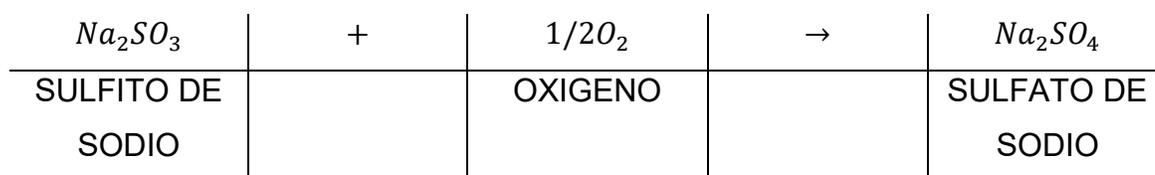
Tabla 3.5 Límites adecuados para la calidad del agua
Fuente: (Clayton, 2005; p. 13)

| LÍMITES ADECUADOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA | |
|--|----------------------------|
| Dureza | cero p.p.m. |
| pH | min. 10.5, máx. 11.5 |
| Desgasificación (O_2 y CO_2) residual de Sulfitos (SO_3) | 50 a 100 p.p.m |
| Límite de sólidos disueltos | min. 2000-6000 p.p.m. máx. |
| Sólidos en suspensión (basura) | Cero |

Entonces, el agua dura que ya paso por el suavizador y ahora denominada agua suave, debe ser tratada de manera química para eliminar las condiciones normales y aumentar el rendimiento del equipo, para ello es necesario introducirla y almacenarla en un tanque de condensados, porque en el interior de éste se debe realizar el tratamiento químico por medio de los tres reactivos propios de la marca Clayton: Oxicl原因, Policlay y Aminclay.

El gas más importante disuelto en el agua es el Oxígeno, el cual es un elemento que propicia la corrosión, ya que puede producir oxidación con los demás elementos. Para ello se cuenta con el reactivo llamado Oxicl原因, “este producto químico elaborado a base de sulfito catalizado reacciona con el oxígeno disuelto del agua, atrapándolo y generando sulfatos que deben ser purgados (del tanque receptor) para no saturar el agua; además, esto ayuda a controlar la cantidad de Sólidos Disueltos Totales” (véase la Reacción 3.2) (Clayton, 2016, p. 32).

Reacción 3.2 Producto del uso de Oxiclay (Clayton, 2018, p. 17)



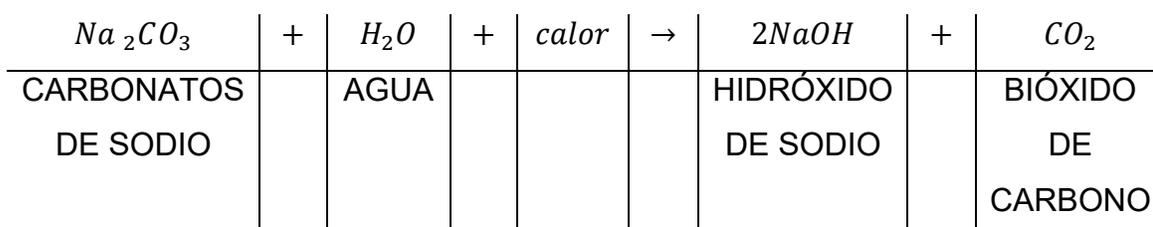
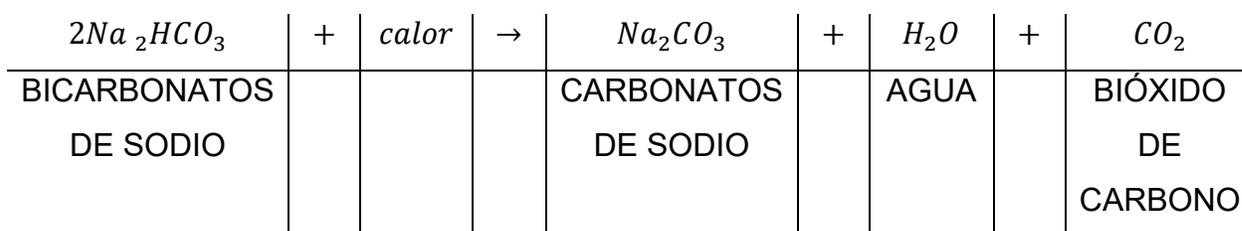
Tener conocimiento de las propiedades de los químicos ayuda en su manipulación, así como en la identificación de la caducidad, ya que mientras el pH continúe con los valores altos de alcalinidad el Oxiclay aún tiene vigencia para su uso. Para ello es recomendable saber la Ficha técnica de éste químico (véase Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Ficha técnica de Oxiclay (Clayton, 2018; p. 38)

| PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL OXICLAY | |
|---|----------------------|
| Apariencia | Líquido transparente |
| Color | Incoloro |
| Olor | Característico |
| pH | 12.5 |
| Gravedad Específica gr/cm ³ | 1.12 |
| Punto de Ebullición °C | 100 |
| Punto de Congelamiento °C | -5 |
| Solubilidad H ₂ O | Completa |
| Flash Point °C | N/A |

Otro reactivo es el Policlay, este mantiene un pH del agua entre 10.5 a 11.5 para evitar la corrosión ácida o cáustica formando una película protectora. Al utilizarlo en el agua se producen Bicarbonatos de Sodio, “los cuales, al ser expuestos al calor, generan Carbonatos de Sodio, Agua y Bióxido de carbono. Al seguir aplicando calor se genera Hidróxido de Sodio y Bióxido de Carbono” (Clayton, 2016; p. 32). Con ello el Hidróxido de Sodio mantiene estable el pH, y además solubiliza a la Sílice para eliminarse por la purga del serpentín para evitar incrustación por silicatos, como se muestra en la Reacción 3.3.

Reacción 3.3 Producto del uso de Policlay (Clayton, 2018; p. 19)



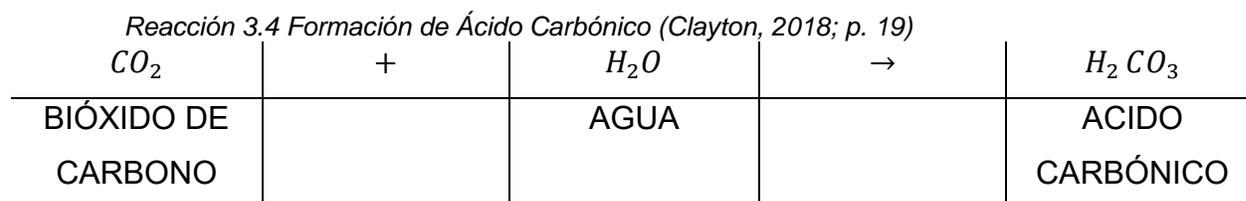
Se muestra en la Tabla 3.7 la ficha técnica de Policlay. Cabe destacarse que en la FES Zaragoza hay gran cantidad de producto almacenado y caducado, pero con la realización de las pruebas de pH se determinó la vigencia del material, ya que aún la alcalinidad del Oxiclay, Policlay y Aminclay es alta. Es importante recordar que si en las pruebas realizadas al agua de alimentación, algún valor se identificó deficiente, se puede solucionar agregando mayor cantidad de químico,

Tabla 3.7 Ficha técnica del Policlay (Clayton, 2018; p. 33)

| PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL POLICLAY | |
|--|----------------------|
| Apariencia | Líquido transparente |
| Color | Ámbar |
| Olor | Característico |
| pH | 13.5 |
| Gravedad Específica gr/cm ³ | 1.10 |
| Punto de Ebullición °C | 100 |
| Solubilidad H ₂ O | Completa |
| Flash Point °C | N/A |

Debido a la Reacción 3.3, se genera CO_2 (Bióxido de Carbono), el cual “viaja con el vapor (ya que es un gas no condensable), y al llegar a la línea de retorno de condensado y encontrarse a una temperatura y presión menores, reaccionan éste y el

vapor condensado formando ácido carbónico, el cual es altamente corrosivo” (Clayton, 2016; p. 33). Así que se utiliza otro químico para evitar la corrosión por Acido Carbónico (véase la Reacción 3.4).



El reactivo que se utiliza para evitar lo anterior es el Aminclay, el cual está hecho a base de aminas. Esta amina reacciona, solo hasta que se produce el Ácido Carbónico, es decir, hasta que se encuentran en contacto el Ácido Carbónico y el Aminclay, se neutralizan. La ficha técnica del Aminclay se ve en la Tabla 3.8, para su manipulación.

Tabla 3.8 Ficha técnica de Aminclay (Clayton, 2018; p.43)

| PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL AMINCLAY | |
|--|-------------------------|
| Apariencia | Líquido transparente |
| Color | Incoloro |
| Olor | Característico amoniaco |
| pH | 10.7 |
| Gravedad Especifica gr/cm ³ | 1.02 |
| Punto de Ebullición °C | 98.8 |
| Punto de Congelamiento °C | -6 |
| Solubilidad H ₂ O | Completa |
| Flash Point °C | N/A |

Es de carácter importante mencionar, que en FES Zaragoza a lo largo de la vida del GV solo se han utilizado dos químicos, los cuales son el Policlay y el Oxicluy. Y han sido dosificados en las siguientes cantidades como se observa en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Dosificación realizada anteriormente en la FES Zaragoza

| REACTIVOS UTILIZADOS ANTERIORMENTE | CANTIDADES DOSIFICADAS EN 4 HORAS |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| OXICLAY | 700 ml |
| POLICLAY | 300 ml |

Al comparar, la dosificación antes realizada (Tabla 3.9) y la dosificación recomendada (Tabla 3.10), se demuestra que las cantidades son muy variadas, es decir, en 4 horas con el químico Oxiclay la diferencia es de 1350 ml y con Policlay es de 12.6 ml, con ello se concluye que en algunas dosificaciones la proporción es de hasta de 4 veces.

Al realizar los levantamientos (Tabla 3.10), se demostró que el recubrimiento de sulfitos y de aminos es deficiente (representado con subrayado), es decir, se requiere una mayor cantidad y por eso mismo se recomienda el uso del químico Aminclay. Como se ha expuesto, el uso en conjunto de los tres químicos es de carácter fundamental, ya que trabajan en colaboración neutralizando los agentes corrosivos, y no hay justificación de no usarse alguno, como el caso particular de la FES Zaragoza que no usaba Aminclay. Para una correcta dosificación de éste y los demás químicos se sugiere tomar las cantidades sugeridas de la Tabla 3.12.

Tabla 3.10 Levantamientos de dureza, alcalinidad y sulfitos, antes y después de dar servicio al GV.

| Antes de un servicio | Después de un servicio |
|---|---|
| <p>Dureza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 10 p.p.m. • Tanque de condensados= 13 p.p.m. • Tanque suavizador= 6 p.p.m. | <p>Dureza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 0 p.p.m. • Tanque de condensados= 0 p.p.m. • Tanque suavizador= 0 p.p.m. |
| <p>pH:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 10 • Tanque suavizador = 8 | <p>pH:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 11 • Tanque suavizador = 11 |

| | |
|--|--|
| | |
| Sulfitos: <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de sulfitos (SO₃) Sulfitos= 36 p.p.m. | Sulfitos: <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de sulfitos (SO₃) Sulfitos= 24 p.p.m. |

En los levantamientos se destacó que antes de dar servicio, en todos los puntos que se realizó la prueba de dureza en el condensado se encontró agua dura, también el pH no se encontraba en el rango ideal y presentaba acidez, además la cantidad de sulfitos era muy deficiente. Después de dar servicio y aplicar las cantidades recomendadas de químico los resultados cambiaron, es decir, ya se trabaja con agua suave, con un pH dentro del rango ideal para el GV, pero como no se contaba con Aminclay en la FES Zaragoza el valor de los sulfitos fue bajo.

El uso de Aminclay es fundamental para el Generador, y con el apoyo de la FES Aragón, se realizó una donación del químico Aminclay para ayudar y exponer como el químico aumenta los valores de Sulfitos. Cabe destacar, que se debe seguir utilizando y que solubilice el químico, para que los valores de sulfitos sigan en aumento, demostrando la eficacia de la dosificación del químico. Para ello, los nuevos valores registrados después del uso del Aminclay se aprecian en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Prueba de Dureza, pH y sulfitos después del uso de Aminclay

| Después del uso de Aminclay |
|---|
| Dureza: <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 0 p.p.m. • Tanque de condensados= 0 p.p.m. • Tanque suavizador= 0 p.p.m. |
| pH: <ul style="list-style-type: none"> • Generador de vapor (tubos de alimentación)= 11 • Tanque suavizador = 11 |
| Sulfitos: <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de sulfitos (SO₃) Sulfitos= 48 p.p.m. |

En el uso de estos productos químicos, se deben tener las medidas de seguridad pertinentes, porque el pH de éstos es muy elevado, es decir, son tan alcalinos que pueden reaccionar en el contacto con la piel como un ácido, provocando severas quemaduras. Además, no deben ser ingeridos, ni inhalados, por sus características previamente citadas, por ejemplo, el Aminclay no es utilizado en la industria alimenticia, ni farmacéutica.

Así que, es ideal usar instrumentos de seguridad para el uso de estos reactivos, como guantes de látex, cubre bocas, bata de algodón, gafa y calzado cerrado, para evitar el contacto. Es importante emplear este equipo en todo el lapso que se utilice el GV, y aún más importante cuando se suministra el reactivo por medio de la bomba dosificadora, la cual está instalada directamente al tanque de condensados para que la calidad del agua sea la correcta antes de circular por la tubería del generador.

Para que el condensado se encuentre en estado óptimo, se hace mención de esto en el Nuevo Procedimiento de encendido propuesto en la presente tesis, donde se recomienda siempre supervisar el condensado antes de arrancar el generador por medio de pruebas, como son las tiras tornasol para verificar el pH y la pluma electrónica para conocer la dureza del agua. También se sugiere calibrar el control principal de la bomba dosificadora para dosificar adecuadamente el reactivo, ya que se debe suministrar producto químico toda la jornada de trabajo, esa información de control específica del modelo de la bomba se encuentra en el apartado 3.5 PARTICULARIDADES DE CONTROL ESPECÍFICOS, de este capítulo.

Para la correcta dosificación de químico, se utilizó la Tabla de dosificación de Clayton (Tabla 3.12), la cual indica las medidas exactas de cada reactivo. Para ello se conoce, que en la FES Zaragoza se tiene un GV de 60 caballos y un retorno del 20 % (el retorno puede variar conforme la trampa de vapor o de la intensidad de uso), debido a que el retorno de condensado es bajo se debe suministrar más químico, y en caso contrario deberá suministrarse menos, esto es con relación a la disolución de los químicos en el agua.

Tabla 3.12 Dosificación de los químicos de la marca Clayton (Clayton, 1997)

| | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| FES ZARAGOZA CAMPUS II | 20 % DE RETORNO | |
| CABALLOS CALDERA | 60 | |
| POLICLAY | 630 <i>ml</i> por 8 horas | 78.75 <i>ml</i> por hora |
| OXICLAY | 4.10 <i>litros</i> por 8 horas | 512.50 <i>ml</i> por hora |
| AMINCLAY | 457.14 <i>ml</i> por 8 horas | 57.14 <i>ml</i> por hora |

Esta tabla es en relación al porcentaje de retorno de condensado, los caballos de la caldera, con 100% de carga, con 85°C a 88°C de temperatura en el tanque de condensados. Se garantiza que, al utilizar estos químicos con la correcta dosificación, se evitará corrosión e incrustación, con lo cual el GV trabajará con un alto grado de eficiencia.

3.4.3 COMBUSTIBLE

La marca Clayton tiene distintos modelos de generadores, los cuales pueden utilizar 3 formas distintas para generar la flama del quemador. Estas son con combustible Diésel, GAS (L.P. o natural) y la última es una combinación de GAS-Diésel. La diferencia entre estos tipos de funcionamiento es mínima, ya que su procedimiento de encendido y paro son muy similares, por ejemplo, el GV de gas cuenta con un piloto el cual debe estar encendido en el arranque del generador, y en el de diésel el combustible sale de los inyectores en el momento exacto en que los electrodos producen la chispa. Los generadores de GAS-Diésel se llaman así, porque pueden trabajar con cualquiera de los dos combustibles, y de manera independiente con un combustible a la vez, lo que le da gran versatilidad a su uso.

Otro factor en estas calderas es el poder calorífico de los combustibles (Tabla 3.13), ya que es distinto, y se demuestra en la eficiencia térmica a Fuego Bajo y Fuego Alto del GV.

Tabla 3.13 Eficiencia térmica de los combustibles (Clayton, 2016)

| EFICIENCIA TÉRMICA: | FUEGO BAJO | FUEGO ALTO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Diésel | 82% | 82% |
| Gas Natural | 80% | 80% |
| Gas L.P. | 80% | 80% |

El GV de la FES Zaragoza utiliza diésel, este es almacenado en un tanque de combustible fuera del cuarto de máquinas, el cual tiene una capacidad de 5,000 litros. Este tanque es de gran tamaño y almacena todo el combustible del semestre, pero presenta un problema en el tubo de nivel de combustible; no se puede apreciar cual es la cantidad que presenta, porque al estar expuesto al sol, a la intemperie y los distintos cambios de temperatura, el tubo ha perdido visibilidad para revisar el nivel del tanque.



Figura 3.10 Tanque de combustible de 5,000 litros

Eso es un gran impedimento porque se puede terminar el combustible sin previo aviso, en el semestre 2018-I se acabó el Diésel y no se pudieron continuar las prácticas de ingeniería química.

En este caso, es importante recordar que en condiciones óptimas el GV gasta 18 GPH (68.1 L/h), lo que equivale en caso de estar lleno el tanque de combustible a 73.5 horas de trabajo del Generador, teniendo en cuenta estas horas totales y el gasto que se tiene en la FES Zaragoza se puede mejorar la planeación del combustible de las prácticas, lo que también resuelve el problema de la avería en el nivel de combustible. Dado que con la Nueva Bitácora se hará un reporte de las horas de trabajo del GV, se determinará el combustible necesario y utilizado cada vez que se trabaje, para tener una aproximación del nivel del tanque de combustible.

Con lo anterior, se hizo la recomendación de cambiar el tubo de nivel por uno fabricado en cristal, también que el tanque de combustible se podría ubicar en una zona donde no esté a la intemperie o en su defecto que tenga sombra y no esté expuesto directamente al sol, además se recalcó en la importancia de calcular el gasto del combustible. Con ello, se tuvo la respuesta de que se cambiará el nivel por uno que se pueda visualizar cómodamente y que se calculará el consumo del combustible.

3.5 PARTICULARIDADES DE CONTROL ESPECÍFICOS

El GV junto con los equipos que lo conforman, además de tener mecanismos mecánicos cuentan con controles analógicos y digitales, con la intención de facilitar la interfaz del usuario con el sistema de vapor. En este apartado, se explican los elementos de este tipo, su importancia y uso adecuado para las necesidades de la FES Zaragoza.

Cabe destacar que en los equipos de control específico, su programación llega a variar dependiendo el modelo, es decir, sus controles y mecanismos no son los mismos, pueden ser desde mecánicos o automáticos, lo que provoca distintas formas de programación, y es notoria la diferencia con respecto a los equipos de la FES Zaragoza y la FES Aragón.

3.5.1 BOMBA DOSIFICADORA

En la FES Zaragoza se cuenta con una bomba dosificadora para el funcionamiento del GV, ya que los productos químicos se diluyen previamente en agua suave y se suministran mediante una bomba para facilitar su aplicación. La bomba con la que cuenta la Facultad fue reparada para este proyecto, también como una asistencia de la FES Aragón a la FES Zaragoza dentro del servicio social realizado por un servidor, con la intención de brindar facilidad y un correcto tratamiento químico al agua que es utilizada para el Generador.

Antes de la reparación de la bomba dosificadora, se suministraba el químico de manera manual, y en una sola exhibición al arrancar el Generador. Pero es importante destacar, que el buen estado de la bomba asegura la correcta dosificación de químico, porque la administración debe ser constante mientras se labore con el GV.

La fractura que daño la bomba, el atirantado que se realizó para dar solución a la avería y especificaciones de la Bomba Dosificadora, se observan en las Figuras 3.24, 3.25 y 3.26.

Fractura



Figura 3.11 Bomba Dosificadora dañada

Atirantado



Figura 3.12 Bomba Dosificadora reparada

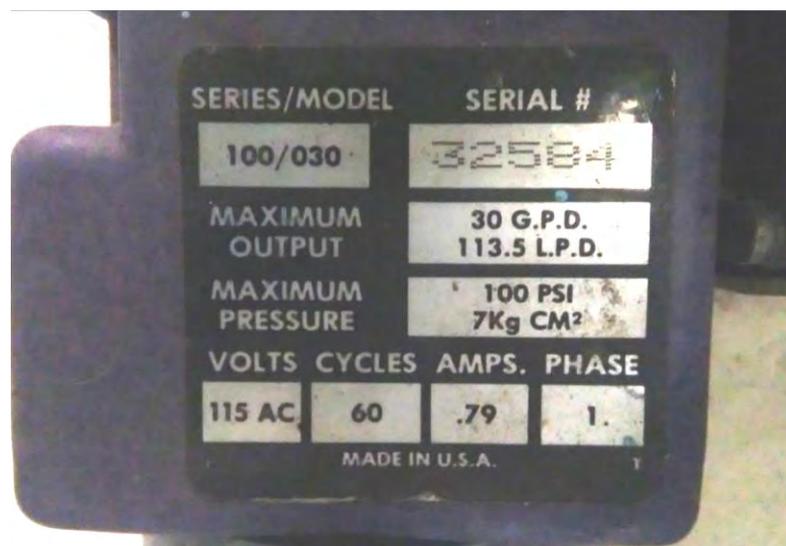


Figura 3.13 Características de la Bomba Dosificadora

Debido a que las practicas varían en duración y en fechas al calendario estudiantil de la UNAM, la cantidad de suministro de los químicos se ve afectada con relación a las horas de trabajo. Pero esta alteración no modifica la potencia de la bomba, simplemente hay que tener el control manual en la posición recomendada, sin importar que la cantidad que se dosificará sea de una o de ocho horas de trabajo, es decir, el control está programado con respecto a la cantidad necesaria por hora, y aunque se agregará mayor cantidad de químico la bomba en una hora seguirá suministrando la misma cantidad controlada para una hora.

Para ello se provee del cálculo necesario para la correcta dosificación de químico y el buen funcionamiento de la Bomba Dosificadora por hora de uso, con un retorno de la trampa de vapor de 20%. Es importante recordar que en una jornada de trabajo normal de 8 horas las cantidades requeridas son: 630 ml de Policlay, 4100 ml de Oxiclay, 457.14 ml de Aminclay. En la Figura 3.17 se muestra el control de la Bomba Dosificadora, la cual muestra 24 divisiones que dan diferente velocidad a la dosificación del reactivo.

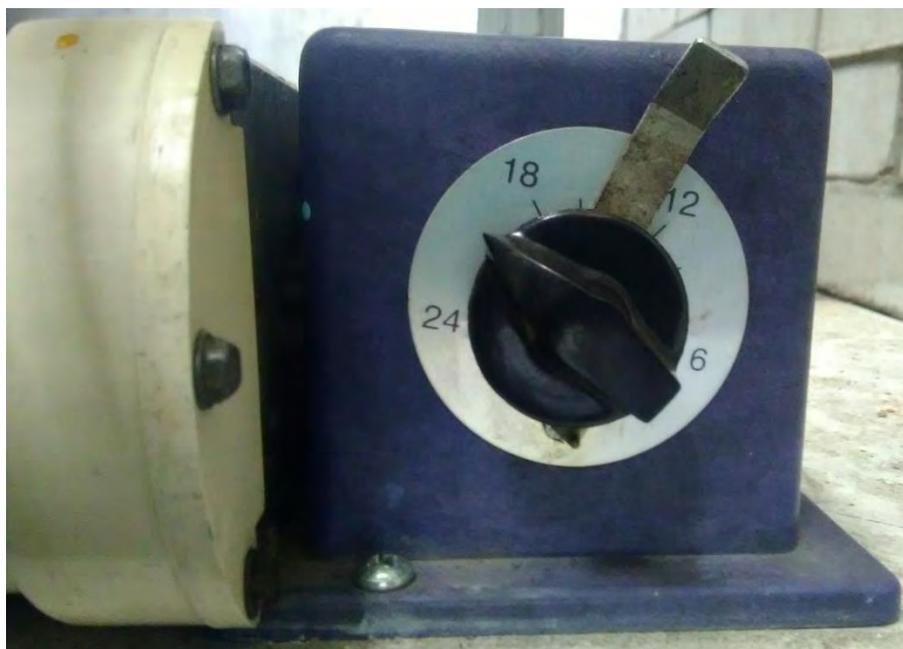


Figura 3.14 Control con 24 divisiones de la Bomba Dosificadora.

PARA 20% DE RETORNO

Datos:

630 ml de Policlay por 8 horas

4.10 litros = 4,100 ml de Oxiclax por 8 horas

457.14 ml de Aminclax por 8 horas

Suma con respecto una jornada de trabajo:

$630 \text{ ml} + 4,000 \text{ ml} + 457.14 \text{ ml} = 5,187.14 \text{ ml}$ en 8 horas

$5,187.14 \text{ ml} / 8 \text{ horas} = 648.3925 \text{ ml} / \text{hr} = 0.142626 \text{ gal} / \text{hr}$

Como la Bomba Dosificadora esta graduada con 24 Divisiones, se especifica la División recomendada para suministrar 0.142626 gal / hr:

Recordar que la potencia de la Bomba es de 30 G.P.D.

Entonces:

$$30 \text{ gal} / 24 \text{ hr} = 1.25 \text{ gal} / \text{hr} \quad \text{ó} \quad 30 \text{ gal} / 24 \text{ divisiones} = 1.25 \text{ gal} / \text{divisiones}$$

Así que:

$$(0.142626 \text{ gal} / \text{hr}) (1 \text{ división}) / (1.25 \text{ gal} / \text{hr}) = 0.114101 \text{ de división} = 11.4 \% \text{ de la primera división}$$

Como conclusión a este apartado, el cálculo demostró que la bomba dosificadora de 30 G.P.D. es muy potente y se requiere una de menor capacidad, ya que colocar el control regulador a 0.114101 de división = 11.4 % de la primera división es muy complejo por su manipulación manual. Es importante saber que actualmente las bombas dosificadoras que suministra Clayton de México tienen una capacidad de 30 galones por día, aunque si hay bombas de la marca de menor capacidad, como es el caso con la bomba que se cuenta en la FES Aragón.

El GV de la FES Zaragoza tiene un retorno de condensado en la trampa de vapor de 20%, significa que como hay poca recirculación se requiere mayor químico para solubilizar éste en toda el agua del sistema. Por lo tanto, este modelo de bomba dosificadora es compatible para GV de mayor caballaje, porque éstos requieren mayores cantidades de químico en una hora. Inclusive este modelo de 60 caballos es de los que mayor cantidad de químico requiere, y aun así la potencia de la bomba dosificadora es elevada para estas características.

3.5.2 SUAVIZADOR AUTOMÁTICO

Es un equipo auxiliar del Generador de vapor, que se encarga de convertir el agua dura de la red de suministro en agua suave, esta agua después es almacenada en el tanque de condensados, y con ella se alimenta al generador para no producir incrustación en los componentes metálicos. Cabe destacar que, a pesar de este proceso, es necesario realizar un tratamiento químico. Como se ha mencionado anteriormente, el suavizador automático consta de varios componentes, como: el Tanque de resina, Tanque de

salmuera y el Control automático de retrolavado (mostrados en la Figura 3.28). La operación de los suavizadores puede ser manual o automática.

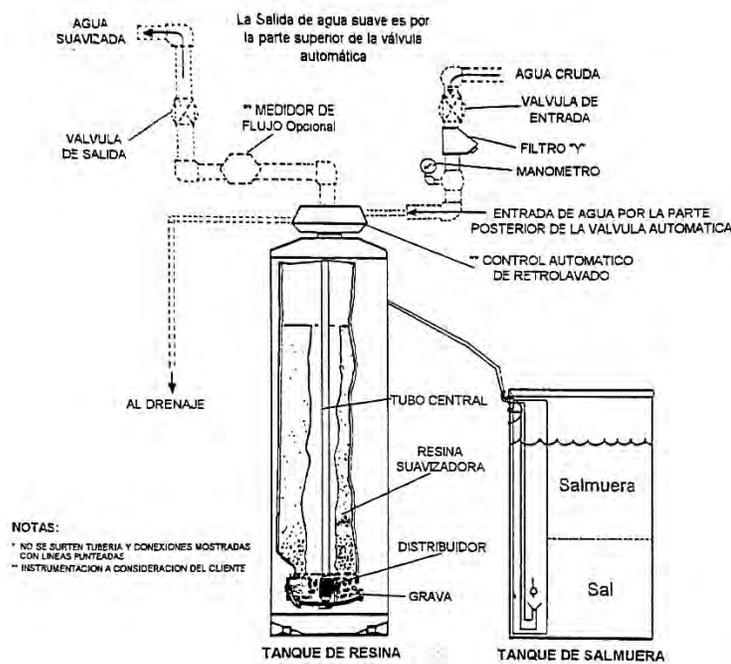


Figura 3.15 Instalación hidráulica de un suavizador Automático (Clayton E60, 2005; p. 20)

El suavizador automático es llamado así, debido a que tiene un control automático de retrolavado (Figura 3.29) con el que se puede programar por fecha y hora el ciclo de regeneración de zeolita, facilitando la tarea al operador ya que solo se debe ajustar el inicio del funcionamiento del equipo. También se puede anticipar el retrolavado, porque solo ajustando el control en el día y hora requerida, éste realizará la regeneración de manera automática.

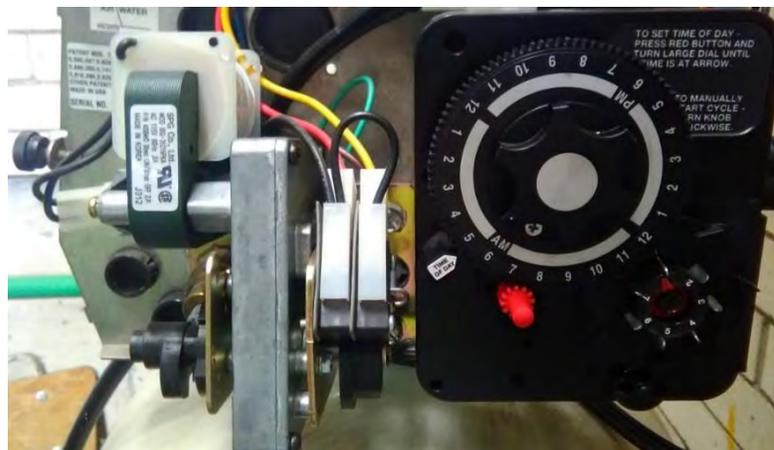


Figura 3.16 Control de hora y fecha del Suavizador Automático

Para acceder al control automático de retrolavado se debe retirar la tapa de plástico del cabezal del suavizador. En el control hay tres componentes, uno es para ajustar la hora del mantenimiento que puede ser para cualquier momento del día, otro es para programar el día de la semana con la intención de que periódicamente se realice (Figura 3.29), y en la zona posterior al control aparece el ultimo dispositivo (Figura 3.30), para activar de manera manual la división (pin) de arranque del retrolavado con la finalidad de iniciar la regeneración o la etapa que se desea realizar. Estas facilidades del suavizador automático benefician el mantenimiento a largo plazo y aseguran una correcta calidad del agua y de vapor.



Figura 3.17 Control de arranque con divisiones para la regeneración del Suavizador Automático

El periodo de regeneración del suavizador dura aproximadamente de 90 a 120 minutos. La periodicidad de regeneración varía dependiendo el uso del Generador de Vapor, y para saber el momento en el que se le debe dar mantenimiento a este equipo se hacen pruebas químicas con los reactivos H de Clayton o con la pluma electrónica, con los que se determina la calidad del agua, es decir, si el agua es dura inmediatamente se debe realizar el retrolavado. Los suavizadores (Figura 3.31) se programan de acuerdo a las condiciones de operación, en el caso particular del GV de la FES Zaragoza esto depende de la cantidad de grupos, sesiones y fecha de las practicas.



Figura 3.18 Suavizador Automático de la FES Zaragoza

El Suavizador se compone de varios equipos como son el tanque de resina, tanque de salmuera y la válvula automática electromecánica. El tanque de resina es un tanque fabricado en fibra de vidrio, cuyo interior contiene una cama de grava que funge como soporte y filtro, resina catiónica ciclo sodio y un tubo distribuidor. El tanque de salmuera contiene un flotador, una línea de succión y sal en grano libre de yodo inmersa en agua, que comúnmente es llamada Salmuera y se utiliza para reactivar la resina. La válvula automática electromecánica es de cinco vías, es decir, controla las diferentes fases de operación del suavizador, como el servicio, retrolavado, regenerado, enjuague lento y rápido, rellenado de salmuera.

A continuación, se dividen las etapas de mantenimiento del suavizador:

1. SERVICIO

En este punto el Suavizador se encuentra operando de manera normal, es decir, el agua dura proveniente de la red municipal entra por la válvula automática electromecánica de 5 vías, para ser dirigida dentro del tanque suavizador y circular por él, para luego tener contacto con la resina zeolítica. En este paso, ahora el

agua denominada suave, es circulada al tanque de condensados para ser almacenada y después utilizada con el Generador de vapor. Así se realiza la suavización del agua, donde el principio fundamental es la ionización o intercambio iónico, donde la Zeolita retiene los iones de Calcio y Magnesio para ceder los iones de Sodio los cuales no generan incrustación.

Cabe destacar que las partículas de resina tienen determinada cantidad de intercambio iónico, y conforme se utiliza, dicha capacidad se va perdiendo y debe ser reactivada, debido a esto se tiene que dar servicio cada cierto tiempo de uso. Es importante tener en cuenta que puede haber un punto en que la reactivación no sea eficaz, porque la zeolita también comprende un periodo de vida, cuando ocurre esto debe ser reemplazada por resina nueva. Esto puede ser comprobado al realizar pruebas de dureza después de que el suavizador regenere la zeolita, es decir, aunque se haga la regeneración el agua seguirá siendo agua dura. Dentro de los levantamientos que se realizaron en la FES Zaragoza, se determinó que la resina todavía tiene un largo periodo para ser usada. En la Figura 3.32 se observa la puesta en Servicio del Suavizador.

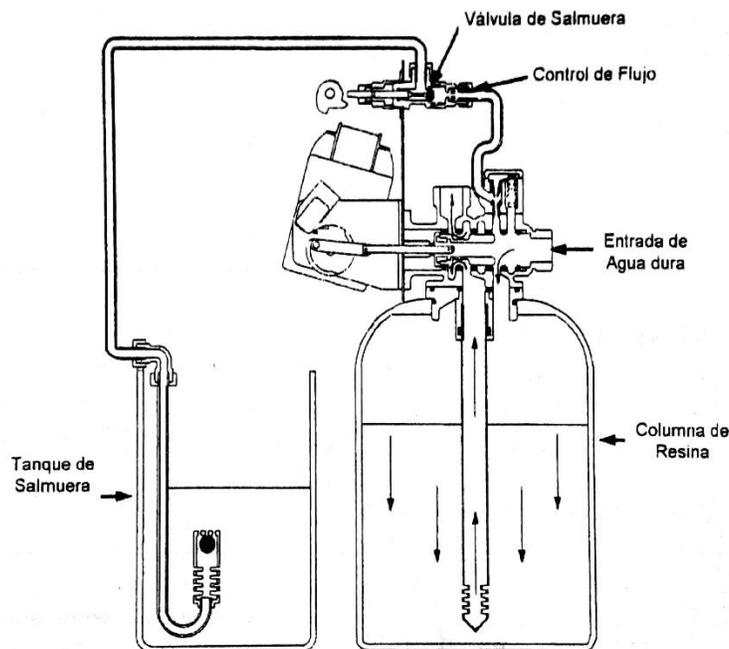


Figura 3.19 Suavizador Automático en el Servicio
(Clayton, 2005; p. 21)

2. RETROLAVADO (duración de 10 minutos)

Es cuando el control del suavizador se coloca en el primer pin, ya que es la primera etapa del mantenimiento del suavizador. En este punto el agua dura entra al tanque a través del conducto de alimentación, para bajar por el tubo central hasta salir por el distribuidor inferior, con la intención de expandir la zeolita y se puedan arrastrar sólidos y lodos acumulados hacia el drenaje.

El porcentaje de efectividad de retrolavado es administrado por el control de flujo que se encuentra en la descarga al drenaje (debajo del tanque). También es importante, que el suavizador en esta etapa esté a una presión de alimentación de 25 lb/pulg^2 , ya que con presiones menores el retrolavado es ineficiente y tendrá que realizarse nuevamente con la presión adecuada. Al terminar el retrolavado, automáticamente el suavizador continúa con los demás procesos como se observa en la Figura 3.33.

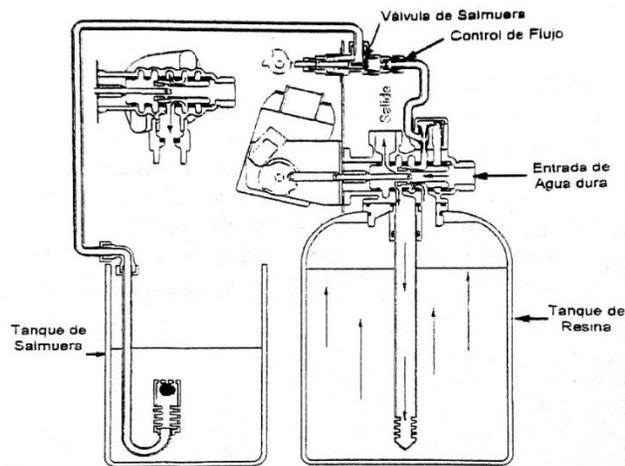


Figura 3.20. Suavizador Automático en el Retrolavado (Clayton E60, 2005; p. 22)

3. REGENERADO (duración de 30 minutos)

En este paso es muy importante (véase Tabla 21), que con anticipación ya esté en el tanque de salmuera con la cantidad específica de sal (sal de grano o industrial, libre de yodo y prelavada), ya que mecánicamente después del punto anterior la válvula automática absorbe la solución saturada de sal, cuyo flujo es controlado por la válvula de salmuera. De lo anterior, la solución de salmuera entra en contacto con la resina para reactivar y regenerar la carga que ayudará para la

ionización en el servicio, después dicha sustancia es descargada al drenaje hasta que la Zeolita ya ha absorbido el volumen requerido de salmuera. La reactivación se debe a que la regeneración es el proceso inverso a la suavización, es decir, la resina atrapa a los iones de sodio y cede los de Calcio y Magnesio a la salmuera.

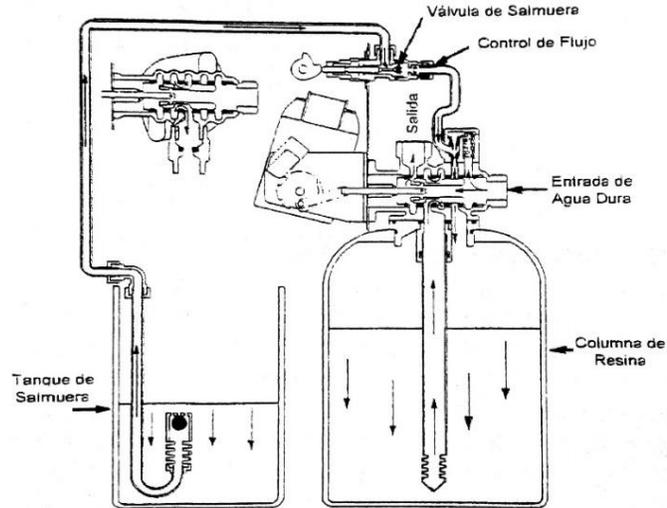


Figura 3.21 Suavizador Automático en el Regenerado
(Clayton E60, 2005; p. 22)

4. ENJUAGUE (Tipo Lento 20 minutos de duración)

La finalidad de esta etapa es alargar el contacto de la zeolita con la salmuera en la succión, para incrementar la eficiencia de la regeneración. Es importante recordar, que la calidad de regeneración de la resina y el tiempo de este paso va a depender del porcentaje de flujo de la válvula de salmuera.

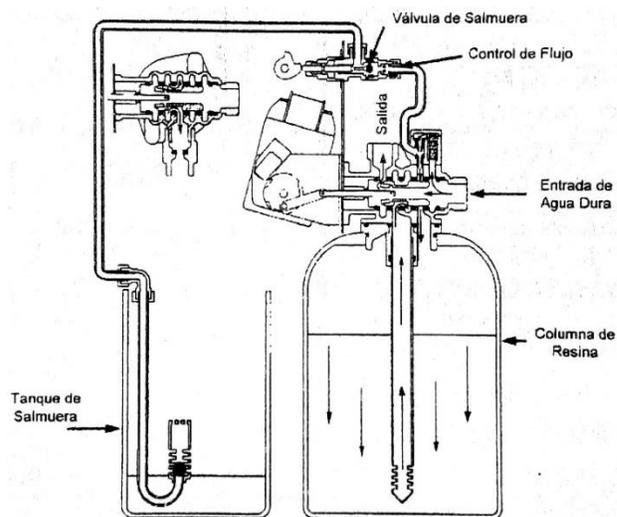


Figura 3.22 Suavizador Automático en el Enjuague Lento (Clayton E60, 2005; p. 23)

5. ENJUAGUE (Tipo Rápido 10 minutos de duración)

En este punto se concluye el contacto de la resina con la salmuera, y se termina con la descarga de la salmuera del tanque suavizador, con ello se reacomoda la resina en el tanque, quedando ya reactivada. Al ocurrir ello, el tanque del suavizador queda vacío esperando entrar en servicio, y el tanque de salmuera queda sin fluido siendo necesario dejarlo en condiciones para el próximo uso (véase Figura 3.36).

Cabe destacar, que en el proceso de Regeneración se realizan los dos tipos de Enjuague: Lento y Rápido, los cuales no son excluyentes de todo el proceso.

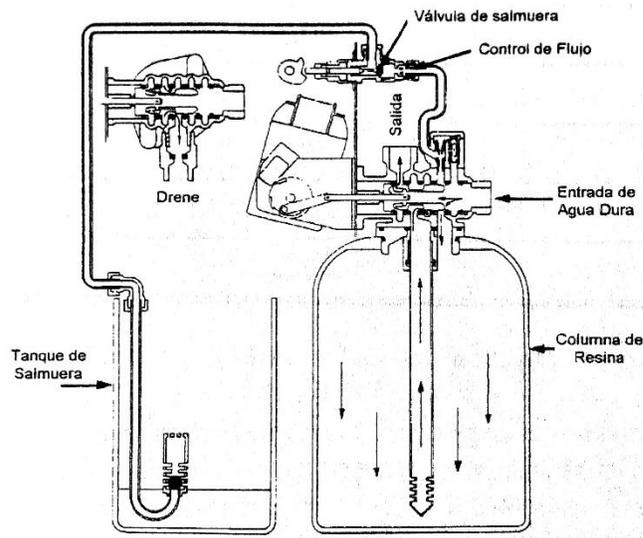


Figura 3.23 Suavizador Automático en el Enjuague Rápido (Clayton E60, 2005; p. 23)

6. REPOSICIÓN DEL AGUA AL TANQUE DE SALMUERA-

Para tener mejor control y calidad en la regeneración, automáticamente se restituye el agua en el tanque, pero es necesario y de manera inmediata que se agregue la sal al tanque de salmuera, para que el agua ya situada allí se sature y esté preparada para su próximo uso como se observa en la Figura 3.37.

Es recomendable que al término de cada regenerado se haga la prueba de dureza en el agua que distribuye el suavizador, para corroborar que sea con **CERO granos galón (0 p.p.m.) de dureza**. En caso de que el agua resulte dura puede haber un problema en el procedimiento ya mencionado, o inclusive la zeolita ya término con su ciclo útil. Para ello es necesario revisar el proceso, y reportar las anomalías con las autoridades responsables del Generador de Vapor.

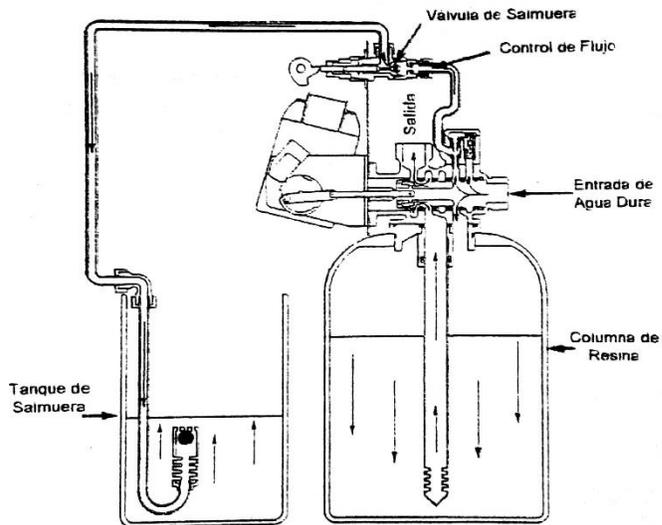


Figura 3.24 Suavizador Automático en la Reposición de agua al tanque de salmuera (Clayton E60, 2005; p. 24)

Para poder agregar la cantidad de sal que requiere el tanque de salmuera, es necesario revisar la tabla 3.14 En el caso particular del GV de la FES Zaragoza, se trabaja con un modelo 60A y la carga de sal recomendada para el tanque de salmuera es de 14 kg.

Tabla 3.14 Carga de sal por periodo de generación del Tanque de Salmuera, recordar que el modelo es de 60 caballos (Clayton E60, 2005; p. 24)

| MODELO | CARGA INICIAL (kg) | CARGA DE REGENERACIÓN (kg) |
|--------|--------------------|----------------------------|
| 30A | 180 | 7 |
| 60A | 180 | 14 |
| 90A | 180 | 21 |
| 120A | 200 | 28 |
| 150A | 200 | 35 |
| 180A | 450 | 42 |
| 210A | 450 | 49 |
| 240A | 450 | 56 |

3.5.3 FUEGO BAJO Y FUEGO ALTO

La modulación automática del quemador evita los frecuentes ciclos de encendido y apagado del quemador, esto permite una operación estable a los requerimientos de vapor de cada equipo del laboratorio. Ya que el vapor se estabiliza a la cantidad requerida y permanece allí facilitando el control.

El sistema automático basa su funcionamiento en el actuar de la compuerta del conducto del aire, de los solenoides de Fuego Bajo y Alto, debido a que “el aire que entra a la Voluta del Quemador procedente del Ventilador es dirigido centrífugamente a alta velocidad hacia el Quemador. Ahí se mezcla con el combustible automatizado por las boquillas del Quemador y es encendido por una chispa eléctrica de alta potencia” (Clayton E60, 2005; p. 9). Véase la Figura 3.38, para observar el flujo del sistema de combustible desde su admisión, retorno y combustión en la cámara.

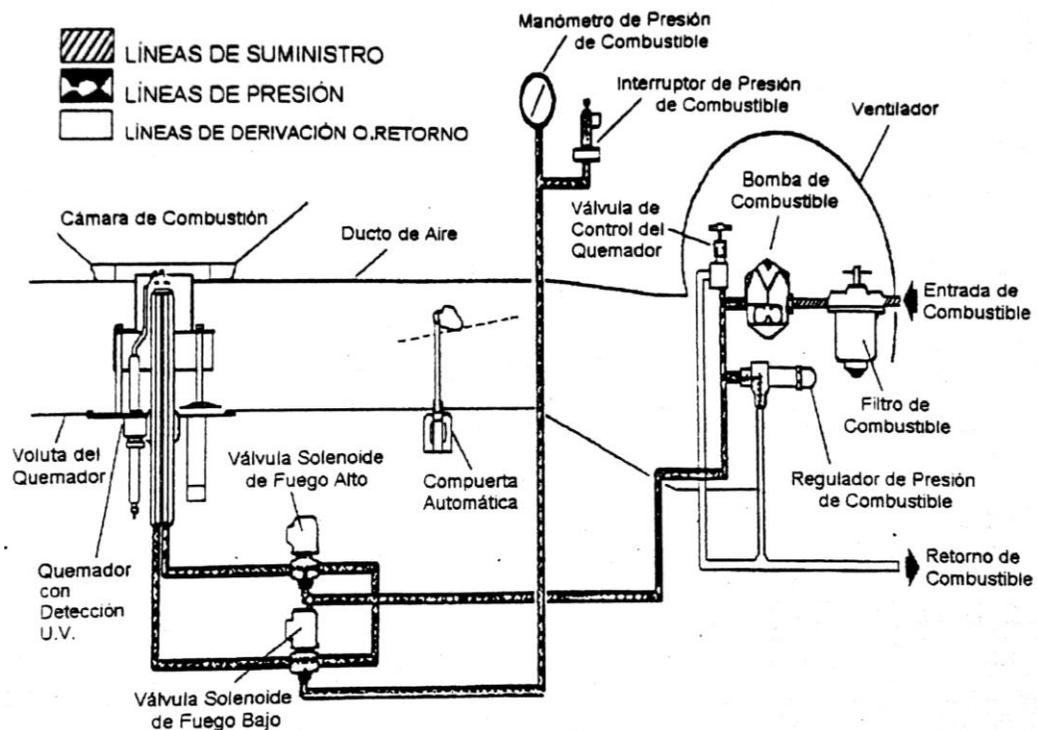


Figura 3.25 Diagrama de flujo del sistema de combustible Diésel (Clayton E60, 2005; p. 7)

Eso significa, que en caso de poca demanda el quemador de fuego bajo funcionará únicamente, dando 50% de la capacidad del generador y proporcionando la presión de

vapor requerida para esa capacidad, y si la demanda debiera ser mayor entrarán en funcionamiento los dos quemadores de fuego alto que darán el 100% de la capacidad correspondiendo a una necesidad mayor de vapor.

El cambio de la demanda de vapor, es detectada automáticamente por el GV al notar la caída de presión, y éste modifica automáticamente de fuego bajo o alto, cual sea el caso teniendo el control del tablero en FUEGO BAJO/ FUEGO ALTO. Cabe destacar que esta función minimiza la operación del generador cuando se encuentra trabajando de manera normal, ya que le brinda autonomía, y es una característica esencial que cuenta el Generador de Vapor EO60 de FES Zaragoza.

En caso de que la mezcla de combustible-aire sea desequilibrada, puede ocurrir que no prenda el quemador o se utilice más diésel de lo debido. Para ello es buena herramienta identificar el color de la flama. Una flama azul es para un quemador que funciona con gas; en el caso particular del quemador de diésel, una flama roja significa que la cantidad de aire es menor a la de combustible, es decir, se está gastando mayor combustible de lo debido; la flama ideal en este caso es de color amarillo brillante, porque la cantidad de diésel y aire están equilibradas. Debido a ello la Válvula de control de combustible **Vcp** debe estar graduada con la presión requerida, regulándose conforme al color de la flama que se observa en el espejo del GV, la cual debe ser amarillo brillante.

El sistema automático además garantiza el encendido del GV, porque la celda ultravioleta ubicada en el Plato del quemador detecta la flama, lo cual brinda seguridad en la operación al reducir accidentes por un incorrecto encendido, ya que si falla la flama se desconectarán las válvulas solenoides por medio del Control Electrónico de Seguridad (ESC, por sus siglas en inglés) para suspender el flujo de diésel. Con ello el quemador enciende automáticamente dentro de 12 a 17 segundos, y en caso de que no ocurra, se debe liberar el control ESC con un botón situado en cerebro del GV, después se podrá proceder de nuevo al encendido del quemador, garantizando la integridad del equipo (todos estos pasos son base de varios puntos del Nuevo Manual).

Además, se cuenta con un control de Temperatura Contra Falla de Agua (WFTC, por sus siglas en inglés), este dispositivo protege al Generador de Vapor por falla de agua o sobrecalentamiento inducido por alguna otra causa (Véase la Figura 3.39). “El control es un conjunto que consiste de un termocople sensor integrado a la unidad de

calentamiento y un cuadrante digital instalado en la caja de controles eléctricos, el cual, indica ajuste y temperatura” (Clayton E60, 2005; p. 15). El Termocople Sensor está dentro de un casquillo y montado transversalmente en la parte interior del tubo del serpentín, ya que es la zona de mayor temperatura de la unidad de calentamiento.

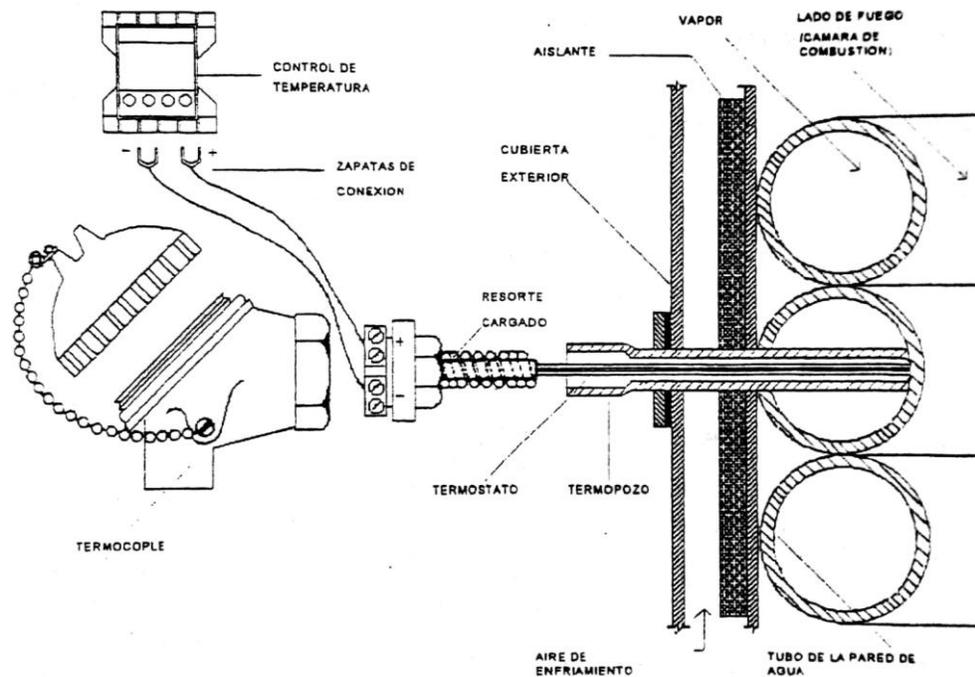


Figura 3.26 Control de temperatura contra falla de agua (WFTC)
(Clayton E60, 2005; p. 4)

El WFTC y el ESC son controles del sistema automático del generador que se encargan de la seguridad, estos controles dan una señal al sistema por medio del relevador primario de protección en caso de haber una falla total o parcial en el suministro del agua de alimentación, con el fin de apagar el quemador y encender la luz LED en el tablero que anuncia la falla. Al obstruirse el paso de agua de alimentación habrá mayor temperatura, porque la cantidad de agua calentada será menor. Para evitar esos inconvenientes, con la protección se asegura que la temperatura baja sin llegar a niveles críticos.

En caso de que la temperatura continuará en aumento, se cuenta con un segundo relevador de protección, que entrará en función para dar solución al problema, es decir, el relevador apagará completamente el GV, asegurando que la temperatura no aumente. Al ocurrir lo anterior es recomendable abrir la Válvula de Control del Presión (Vcp), para

que no haya admisión de combustible al quemador, para que se pueda buscar y corregir la causa de la falla del agua.

Los componentes y funciones que conforman el sistema automático, aseguran que cualquier problema que ocurra con el quemador y la alimentación del agua, se solucionará rápidamente brindando facilidad y seguridad al operador.

Cabe destacarse que el paro de los técnicos de la FES Zaragoza es diferente al planteado en este trabajo, debido a que en su procedimiento ellos cierran las válvulas de alimentación de condensado al GV, con lo que se eleva la temperatura del serpentín al no haber transferencia de calor con otro medio. Eso provoca que el serpentín llegue a un punto crítico de temperatura de 207°C. Como se ha explicado los sistemas de seguridad del Generador y los del Sistema Automático actúan para apagar el GV por falla en el suministro del agua de alimentación.

Por ello, se concluye que el método es un tanto violento, por manejar temperaturas altas en la unidad de calentamiento y por un aumento elevado en la presión de vapor, lo cual puede inducir en el instante o conforme el tiempo, desgaste en las uniones de las tuberías externas al GV (mismas que fueron suministradas por la FES Zaragoza) fugas de vapor en esas zonas, las cuales podrían atentar contra la seguridad del operador al estar en contacto con el vapor saturado.

Ese paro utilizado en la FES Zaragoza, es recomendado por Clayton en algunos de sus manuales, pero como una vía para realizar una supervisión y verificar que los distintos elementos de seguridad están funcionando de manera óptima, así que se sugirió a los responsables del equipo, de realizarlo una vez a la semana para tener de manera constante esa prevención. También para solución a ello, se ofreció como alternativa el Nuevo paro, que se encuentra en el apartado 4.1.2 para ser realizado como el paro determinado en el uso habitual del GV. El cual ofrece un apagado medido, porque no se elevan presiones, ni temperaturas; además el paro tiene una verificación final de las condiciones de las válvulas y con la nueva Bitácora de Mantenimiento se registran las condiciones en que el equipo fue apagado, para tener un mayor control de la operación.

CAPÍTULO 4

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN

4.1 PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE Y PARO PARA EL GENERADOR DE VAPOR EO60

A continuación, se presenta el Manual de procedimiento para la operación del Generador de Vapor EO60 de la FES Zaragoza campus II. Cada punto fue diseñado para cumplir con la funcionalidad y necesidades específicas de este equipo, siguiendo los parámetros de los manuales o procedimientos de Clayton de México, la FES Aragón, de los Técnicos de la Planta Piloto de la FES Zaragoza y de las sugerencias de la responsable de la Planta Piloto la M. Elisa Viñas Reyes.

Es por ello, que en algunos puntos aparece la cita textual o la idea con una adecuación a la necesidad, y con su distribución de los componentes de este GV en particular. Para demostrar la eficiencia del nuevo procedimiento con respecto a los demás métodos, se muestra en el Anexo E una comparación de todos estos con el presente Manual.

Es de carácter importante que, al utilizar el Manual se realicen los puntos de manera consecutiva y sin saltar alguno de estos pasos, ya que eso podría alterar la eficacia del procedimiento.

4.1.1 PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE

1. **Hacer una supervisión general visual del equipo.** Ver que esté en condiciones adecuadas para su uso, que se presente el sistema de alimentación de agua sin fugas, verificar el nivel del agua a la mitad en el tanque de condensados, verificar el tanque de combustible por encima del nivel bajo o vacío, revisar en la bitácora que el GV ya ha trabajado correctamente para evitar inconvenientes al utilizarlo, abrir completamente Vdrenado del tanque de condensados por 10 seg. y después cerrar. (Véanse secciones 1.1.11 y 3.1).
2. Asegurarse de haber dado el **tratamiento químico** al agua en el tanque de condensados, utilizando la Bitácora de Mantenimiento. Recordar que para una hora se requiere dosificar **78.15 ml de Policlay, 512.50 ml de Oxiclay,**

- 57.14 ml de Aminclay.** Para ello prender y colocar el control de la bomba dosificadora en **11.4% de la primera división.** (Observar secciones 3.4.2 y 3.5.1)
3. **Registrar la calidad del agua en la Bitácora de Mantenimiento,** para ello realizar las pruebas de dureza y pH, en la línea del suavizador, en el tanque de condensados y en la Vp del Generador, usar la pluma electrónica para su realización, sin olvidar drenar la línea 10 segundos. (Examinar secciones 3.4.1 y 3.5.2).
 4. **Llenar completamente la Tabla 1 de verificación** para el Generador de vapor. (Cotejar con sección 3.2).
 5. Verificar que los botones o interruptores en el tablero del GV estén en las siguientes posiciones (para mayor información véase sección 3.5.3):
 - a) Interruptor del **quemador en SOLO BAJO (7)** (de la Figura 4.4).
 6. Interruptor de **Operar/llenar (8)** en posición **LLENAR (QUEMADOR APAGADO). Energizar equipo.** Encender el interruptor general del GV (mirar Figura 4.3).
 7. **Para iniciar el llenado del GV. Verificar que el botón de paro (10) este en posición “off” (afuera) y oprimir el botón de Arranque (9) hasta que se apaguen las luces LED (11 y 12)** para que empiece a fluir el agua por el sistema, funcionando el motor que opera el ventilador, la bomba de agua, la bomba auxiliar de agua y la bomba de combustible. En caso de falla del motor se encenderá la luz indicadora (4), tal como se aprecia en la Figura 4.4.
 8. **Encender el quemador** hasta cerciorarse **que el Generador esté lleno.** El sistema estará lleno cuando comience a salir agua por la **Vi** (con ello se accionará la trampa de vapor de tipo cubeta invertida), entonces se debe cerrar **Vi** (tal como se muestra en la Figura 4.1), para ello el operador debe estar sobre la plataforma frontal al GV para evitar el contacto con el agua.
 9. Accionar el interruptor de Operar/Llenar a la posición de **Operar (Quemador encendido).** La llama del quemador **debe ser color amarillo brillante** (para corroborar mire en el espejo que se encuentra debajo de la unidad de calentamiento), en caso de que la flama sea roja se debe **cerrar Vcp** hasta que la

flama cambie de color. La luz indicadora del Quemador encenderá señalando que se ha establecido la flama en el quemador. ^A (Comparar con sección 3.5.3).

10. **Después de que el quemador enciende**, la presión de vapor se elevará hasta alcanzar el máximo ajustado. **Esperar a que el Generador haga dos o tres ciclos de encendido y apagado.** (Como apoyo en la distribución del vapor corroborar con sección 3.4).
11. **Cuando la presión se haya estabilizado, abrir Vdv1 por 5 seg. y cerrar** (para desaguar agua líquida del separador), **después colocar el interruptor del quemador (7) SOLO BAJO-ALTO/BAJO** en posición de **ALTO/BAJO**, luego abrir lentamente **V9** para descargar el vapor **regulando a 7 kg/cm^2 la presión del manómetro (1)** y evitar que la presión caiga menos de 4.3 kg/cm^2 . Después de esto el generador trabajará estable, y estará de forma automática alternando FUEGO ALTO o FUEGO BAJO dependiendo de la demanda de vapor. (Confróntese con secciones 2.2, 2.3 y 3.5.3).
12. Una hora después de que el Generador esté operando a plena capacidad, **anotar los parámetros** que la **Bitácora de Operación** requiere. Principalmente anotar **la presión que registra cada hora el Manómetro de Presión de Alimentación (2) y el Manómetro de Presión de Vapor (1)**. Este dato es de suma importancia para determinar posteriormente, si se está formando incrustación en la Unidad de Calentamiento. (Véase sección 4.3).
13. **Si el vapor deja de utilizarse en algún equipo**, se puede mantener abierta la válvula **V10**, para descargar a la atmosfera, siempre manteniendo la presión de 7 kg/cm^2 . (Corroborar con sección 2.3).

^A **PRECAUCIÓN:** Si falla la flama del quemador y no enciende, no se verá la flama debajo de la unidad del calentamiento y la luz (6) apagará. Para solucionarlo, accionar Operar/Llenar (7) en Llenar, abrir inmediatamente Vcp y pasar al punto 9. Si la Vcp no es Abierta en los 12 segundos siguientes, abrir la parte posterior al tablero y apretar el interruptor de seguridad integrado en el control electrónico por 10 seg. Para reanudar la operación pasar al punto 9, en caso de que no encienda la flama reportarlo y pasar al punto 4 del "Paro al final de la Jornada"

4.1.2 PROCEDIMIENTO DE PARO

Se elegirá la forma de apagado **dependiendo el uso**, es decir, se harán los PAROS MOMENTÁNEOS **en caso de seguir utilizando el GV unos instantes después o hasta el otro turno**, y se realizarán los PAROS AL FINAL DEL TURNO **para terminar la jornada de trabajo**. (Observar secciones 1.3.1 y 1.3.2)

PAROS MOMENTÁNEOS

1. **Hacer una supervisión general visual del equipo**. Al presentar anomalías reportar a las autoridades y pasar al punto 4 del Paro al final del turno. (Véanse secciones 1.1.11 y 3.1)
2. Con la unidad operando a presión de vapor normal, **colocar el interruptor del quemador (7) SOLO BAJO-ALTO/BAJO en posición SOLO BAJO (Figura 4.4)**, después **apagar el quemador** colocando el interruptor **OPERAR/LLENAR (8)** a la posición **LLENAR (quemador apagado)**. Revisar la flama debajo del GV, en caso de que no haya apagado, abrir Vcp y pasar al punto 5 del Paro al final del turno. (Corroborar con sección 3.5.3).
3. **Parar el Generador presionando el Botón rojo de Paro (10) de la Figura 4.4.**
4. Cerrar **V9** cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2 (para que la trampa de vapor siga operando), y desconectar la bomba dosificadora. Si no se mantiene en ese rango la presión, pasar al punto 5 del Paro al final del turno. (Véase sección 2.3).
5. **Para volver a trabajar, regresar al punto 9 del ARRANQUE** del Generador de Vapor.

PRECAUCIÓN: Recordar que no se puede dejar en este estado el Generador por un gran lapso de tiempo o para terminar la jornada, ya que aún hay presión y agua en el sistema, los cuales pueden dañar el equipo. (Confrontar con sección 3.5.2).

PAROS AL FINAL DE LA JORNADA

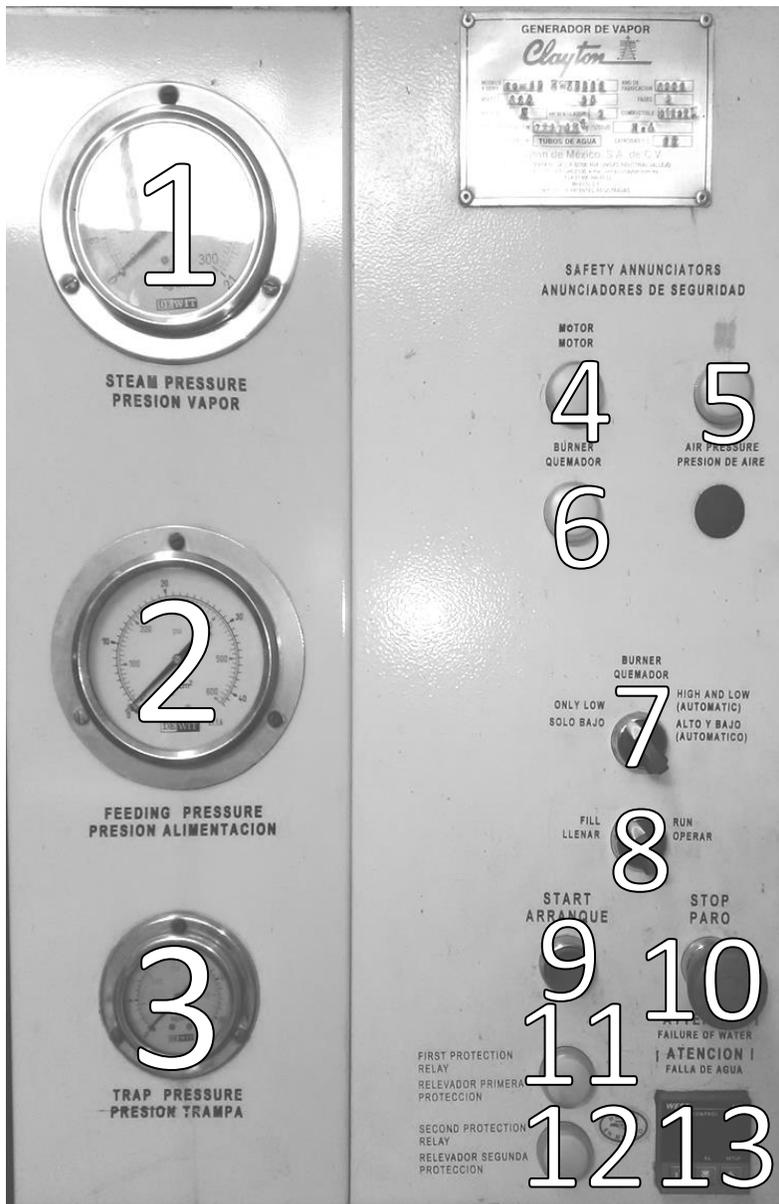
1. Con la unidad operando a presión de vapor normal, **realizar la prueba de sulfitos** antes de parar la unidad y **anotar los resultados en la Bitácora de Operación**. (Véanse secciones 3.4.2 y 4.3).
2. **Hacer el deshollinado. Colocar el interruptor del quemador (7) en BAJO/ALTO** de la Figura 4.4. Después **abrir completamente Vdeshollinado, cerrar V9 y V10** cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2 . (Comparar con sección 3.5.3).
3. **Esperar 5 min.** Al concluir el tiempo, simultáneamente **cerrar Vdeshollinado y abrir V9**.
4. **Después colocar el interruptor del quemador (7) en posición SOLO BAJO, y apagar el quemador colocando el interruptor OPERAR/LLENAR (8) a la posición LLENAR (quemador apagado) (Figura 4.4).** Revisar la flama debajo del GV, en caso de que no haya apagado abrir Vcp.
5. **Cerrar V9**, cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2 para que la trampa de vapor siga operando, al tener la presión deseada **oprimir el Botón de Paro (10)**. (Observar sección 2.3).
6. **Continuar cerrando V9**, ya cerrada totalmente comenzar a **abrir simultáneamente Vda1 y Vda2**, hasta que salga vapor y no agua, cuando esto ocurre cerrarlas, ahora **abrir Vdv1 y Vdv2** para descargar el vapor del GV, y cerrarlas hasta que deje de salir vapor por ellas. En caso de que las válvulas sigan descargando fluido, pueden permanecer abiertas por 30 min. (Véase sección 3.4).
7. **Apagar el interruptor general del GV** (pared izquierda), **llenar la Tabla 2 de Verificación**, para facilitar próximos usos o por si se llega a estar en mantenimiento el equipo.
8. **Anotar en la sección “Observaciones” de la Bitácora de Operación (como se observa en la sección 4.3)**, si el paro se realizó exitosamente o si hubo alguna anomalía. **Recordar que después de los 30 min. de drenado cerrar completamente Vda1, Vda2, Vdv1 y Vdv2.**



Figura 4.2 Distribución de las válvulas V1 a V5



Figura 4.3 Distribución de las válvulas V5 a V13



- 1. Manómetro de presión de vapor
- 2. Manómetro de presión de alimentación
- 3. Manómetro de presión de trampa de vapor
- 4. Luz LED de Motor
- 5. Luz LED de Presión de aire
- 6. Luz LED de Quemador
- 7. Interruptor solo bajo/ alto-bajo
- 8. Interruptor operación llenado
- 9. Interruptor encendido
- 10. Interruptor apagado
- 11. Luz LED Primera protección
- 12. Luz LED Segunda protección
- 13. Control de temperatura del serpentín

Figura 4.4 Tablero del Generador de Vapor

4.2 Listas de verificación

TABLA 3.15 DE VERIFICACIÓN PREVIA AL ARRANQUE DEL GENERADOR DE VAPOR

(Favor de palomear la celda de verificación conforme se cumple la revisión y use las Figuras 1, 2 y 3 para su facilitación en la ubicación de las válvulas)

FECHA: ____ / ____ / ____ . RESPONSABLE: _____

| GENERADOR DE VAPOR (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA, VAPOR Y CONDENSADOS) | | | |
|--|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| VÁLVULA | CANTIDAD | CONDICIÓN: ABIERTA / CERRADA | VERIFICACIÓN |
| V1 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V2 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V3 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V4 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V5 | 1 | CONECTADA | <input type="checkbox"/> |
| V6 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V7 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V8 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V9 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V10 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V11 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V12 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V13 | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vx | 2 | ☑TODAS CERRADAS | <input type="checkbox"/> |
| Vy | 4 | ☑TODAS ABIERTAS | <input type="checkbox"/> |
| Vda1 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vda2 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv1 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv2 | 1 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vrc | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vi | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vp | 3 | ☑CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| (SISTEMA DE COMBUSTIBLE) | | | |
| Vc | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| F | 1 | ☑ABIERTA (SOLO GIRAR 2 VECES) | <input type="checkbox"/> |
| Vcp | 1 | ☑ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vsa* | 1 | CONECTADA | <input type="checkbox"/> |
| Vsb* | 1 | CONECTADA | <input type="checkbox"/> |

(V11, V12, V13 son consideradas Vy o SIEMPRE ABIERTAS debido a su complejidad de manipulación, porque es importante resguardar la seguridad del operador del Generador de Vapor).

*Para verificar Vsa y Vsb, cuando este encendido el Generador es necesario colocar un metal como un desarmador en la válvula solenoide, si lo atrae, significa que está CONECTADA; en caso contrario la solenoide estará DESCONECTADA.

GLOSARIO

- **F:** Filtro de combustible
- **Vc:** Válvula de combustible
- **Vcp:** Válvula de control de presión
- **Vda:** Válvula de drenado de agua
- **Vdv:** Válvula de drenado de vapor
- **Vi:** Válvula de inspección
- **Vrc:** Válvula de retorno de condensados
- **Vsa:** Válvula solenoide alta presión
- **Vsb:** Válvula solenoide baja presión
- **Vp:** Válvula de prueba

TABLA 3.16 DE VERIFICACIÓN POSTERIOR AL FINALIZAR EL USO DEL GENERADOR DE VAPOR

(Favor de palomear la celda de verificación conforme se cumple la revisión)

| GENERADOR DE VAPOR (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA, VAPOR Y CONDENSADOS) | | | |
|--|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| VÁLVULA | CANTIDAD | CONDICIÓN: ABIERTA / CERRADA | VERIFICACIÓN |
| V1 | 1 | ↻ N/C** | <input type="checkbox"/> |
| V2 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V3 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V4 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V5 | 1 | DESCONECTADA | <input type="checkbox"/> |
| V6 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V7 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V8 | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| V9 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V10 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V11 | 1 | ↻ ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V12 | 1 | ↻ ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V13 | 1 | ↻ ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vx | 2 | ↻ TODAS CERRADAS | <input type="checkbox"/> |
| Vy | 4 | ↻ TODAS ABIERTAS | <input type="checkbox"/> |
| Vda1 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vda2 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv1 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv2 | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vrc | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| Vi | 1 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vp | 3 | ↻ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| (SISTEMA DE COMBUSTIBLE) | | | |
| Vc | 1 | ↻ N/C | <input type="checkbox"/> |
| F | 1 | ↻ ABIERTA (SOLO GIRAR 2 VECES) | <input type="checkbox"/> |
| Vcp | 1 | ↻ ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vsa* | 1 | DESCONECTADA | <input type="checkbox"/> |
| Vsb* | 1 | DESCONECTADA | <input type="checkbox"/> |

** N/C: Normalmente cerrada

NOTAS (ESCRIBIR EN ESTA ZONA EN CASO DE INCIDENCIA EN LA VERIFICACIÓN):

1.3 Contenido y llamado de bitácora

El objetivo principal de la Bitácora de Mantenimiento es tener un registro ordenado, claro y sistemático del trabajo que desarrolla el GV en la FES Zaragoza. Su importancia radica en llevar un buen control del proceso de mantener la calidad requerida por el Generador y los equipos que utilizan vapor. La falta de estos registros puede llegar incluso a representar una pérdida de tiempo en mantenimiento que puede ocasionar una merma económica y académica en la facultad. Es decir, la Bitácora es una forma de registrar de manera ordenada, clara y metodológica toda la información relevante del GV.

Como en las bitácoras se registran los cuidados necesarios de diferentes equipos, no hay una convención que estipule la periodicidad de los registros, ya que pueden ser diarios, semanales, mensuales, mientras cumplan las necesidades según los equipos que lo requieran. En el caso particular del GV de la FES Zaragoza, se ha dividido la Bitácora en dos partes: operación (Figura 4.5) y mantenimiento (Figura 4.6). Se recomienda el uso de la bitácora de operación cada vez que se utilice el Generador, y para el mantenimiento preventivo y correctivo puede ser de acuerdo a cada fin de semestre, que es cuando administrativamente se realizan inventarios.

La bitácora es de gran importancia porque da respaldo a que los equipos reciban un mantenimiento preventivo y se conozcan las distintas solicitudes referentes al equipo, para que no haya una falla mayor, además con la Bitácora se puede evaluar el rendimiento y funcionalidad del personal encargado de brindar el cuidado al GV.

Es recomendable tener un historial del cuidado que se realizan a los equipos desde su instalación y puestas en marcha, para detectar si algún equipo sufre una falla o si sufrió una compostura en el pasado y como fue corregido tal error. Anteriormente en la FES Zaragoza no se tenía un documento con tales características, y tampoco se contaba con un registro de los servicios que se habían realizado al Generador. Un ejemplo práctico de la veracidad de la Bitácora, es que al conocer los valores de la presión de alimentación de agua y de la presión de vapor, se puede comprobar en la relación de estos valores si se está produciendo incrustación en la unidad.

Conforme a todas estas premisas mencionadas y en base al Nuevo Manual de procedimientos propuesto en esta tesis, la responsable de la Planta piloto M. Elisa Viñas

Reyes elaboró la Bitácora para cumplir con los parámetros que se necesitan para el GV EO60 de la FES Zaragoza.



**BITACORA DE OPERACIÓN DEL
GENERADOR DE VAPOR CLAYTON SERIE E60
CUARTO DE MÁQUINAS PLANTA PILOTO
INGENIERÍA QUÍMICA**



Fecha: _____

| | Turno matutino | | | | Turno vespertino | | | |
|---|----------------|--|--|--|------------------|--|--|--|
| Presión de vapor (kg/cm ²) | | | | | | | | |
| Presión de alimentación del agua (kg/cm ²) | | | | | | | | |
| Presión de combustible (kg/cm ²) | | | | | | | | |
| Ciclo de trampeo | | | | | | | | |
| Temperatura del domo separador (°C) | | | | | | | | |
| Dureza del agua del suavizador (ppm) | | | | | | | | |
| pH del agua de alimentación al generador | | | | | | | | |
| Deshollinado cada 8 horas de uso | | | | | | | | |
| Purga de la unidad | | | | | | | | |
| Temperatura gases de chimenea (°C) | | | | | | | | |
| Horas de operación del generador | | | | | | | | |
| % de diésel en el tanque al arrancar | | | | | | | | |
| Temperatura tanque de condensados | | | | | | | | |
| Porcentaje de retorno de condensados | | | | | | | | |
| Notas sobre el paro de la unidad al finalizar el turno. | | | | | | | | |

Nota 1: La lectura de la presión del vapor y de la alimentación se toma cada hora durante la operación del equipo.

| Tratamiento del agua de alimentación al generador | | | |
|---|--|----------------------------------|---------------|
| | ml, recomendados por hora de operación | ml, reales por hora de operación | Observaciones |
| OXICLAY | 521.50 | | |
| POLICLAY | 78.15 | | |
| AMINCLAY | 57.14 | | |

Nota 2: Si el retorno de condensados es de 20% siga el valor recomendado por esta tabla de otra forma, consulte la tabla de dosificación anexa a la bitácora.

| Parámetros de calidad del agua de alimentación en tanque de condensados. | | | |
|--|----------------|------|---------------|
| | Recomendado | Real | Observaciones |
| Dureza (Sólidos disueltos) | 0 ppm | | |
| Alcalinidad del agua | 10.5 – 11.5 pH | | |
| Sulfitos residuales | 50 – 150 ppm | | |

| Control de emisiones contaminantes: Análisis de humos (ppm) | | | | | | |
|---|----|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Emisión | CO | CO ₂ | Exceso de O ₂ | NO _x | SO _x | Factor de humo |
| Recomendado | | | | | | |
| Real | | | | | | |
| Eficiencia del generador de vapor: | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | |

Figura 4.5 Bitácora de operación del GV Clayton (Realizada por la Mtra. Elisa Reyes Viñas)



BITACORA DE MANTENIMIENTO DEL
GENERADOR DE VAPOR CLAYTON SERIE E60
CUARTO DE MÁQUINAS PLANTA PILOTO
INGENIERÍA QUÍMICA



El mantenimiento preventivo y/o correctivo al generador de vapor se realizará de forma periódica de acuerdo con el manual de operación y mantenimiento.

| Realiza al final de semestre | Fecha |
|--|-------|
| Limpieza del quemador | |
| Flujo de purga automática (LPM) | |
| Prueba del termostato (seg.) | |
| Dren total tanque de condensados | |
| Limpieza filtro de combustible | |
| Paro por falla de flama (seg.) | |
| Limpieza filtro de bomba de agua | |
| Limpieza filtro de bomba de agua | |
| Limpieza purga automática | |
| Prueba válvula de alivio | |
| Presión voluta del quemador | |
| Interruptor nivel bomba de agua | |
| Asentar discos bomba de agua | |
| Prueba válvula de seguridad | |
| Realizar cada año¹ | |
| Cambio de boquillas del quemador | |
| Cambio de aceite de la bomba de agua | |
| Cambio de banda de motores | |
| Cambio de diafragmas | |
| Cambio de fotocelda o varilla detectora | |
| Cambio de la trampa de vapor | |
| Cambio de válvula de retención de la bomba de agua | |
| Cambios diversos: (anotarlos) | |
| Observaciones: | |

¹ Se sugiere realizarlo por lo menos cada año o de acuerdo con las horas de operación del generador de vapor.

Figura 4.6 Bitácora de mantenimiento del GV Clayton (Realizada por la Mtra. Elisa Reyes Viñas)

4.4 Aplicación del manual

A continuación, se muestra una prueba de factibilidad del Nuevo Manual y las Listas de verificación, la cual realizó la Mtra. Elisa Viñas responsable de la Planta Piloto de FES Zaragoza, con la cooperación del técnico en turno del laboratorio de química y un servidor el 13 de marzo de 2018, con la finalidad de hacer constar la funcionalidad del nuevo Manual de operación.

Para la prueba de factibilidad, la Mtra. Elisa dio lectura y realizó paso a paso los puntos del Manual de operación, con ello se hizo la dosificación de los distintos químicos, la realización de las pruebas de pH, dureza y sulfitos, el llenado de la Bitácora de Mantenimiento y de las Listas de verificación, así como el Arranque y Paro del Generador de Vapor EO60 de la FES Zaragoza (véanse las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7).



Figura 4.5 Dosificación de los químicos

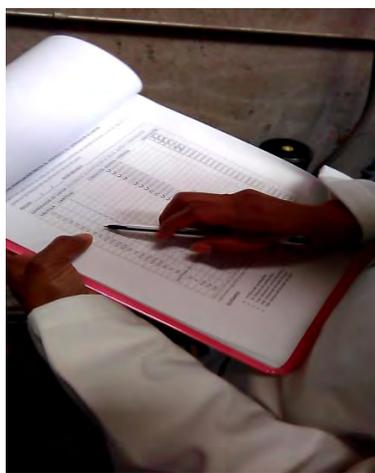


Figura 4.6 Uso de las Listas de verificación



Figura 4.7 Revisión de estados de las válvulas conforme a la Tablas de Verificación

En las Figuras 4.8 y 4.9 se observan la Listas de verificación, en la prueba se determinó, que mejoró la identificación de las valvulas al colocar una columna con la cantidad de elementos. Tambien se considero necesario agragar el termino N/C: normalmente cerrada, debido a que es una recomendación para facilitar al dar mantenimiento al sistema. Al final, se comprobo su eficiencia como un metodo para facilitar el procedimiento de arranque y paro, porque su realizacion fue facil y efectiva.

TABLA DE VERIFICACIÓN PREVIA AL ARRANQUE DEL GENERADOR DE VAPOR

(Favor de palomear la celda de verificación conforme se cumple la revisión y use las Figuras 1, 2, 3 para su facilitación en la ubicación de las válvulas)

FECHA: 13 Marzo 18 . RESPONSABLE: Mtra. Elisa Viñas

| GENERADOR DE VAPOR (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA, VAPOR Y CONDENSADOS) | | | |
|---|----------|--------------------------------|--|
| VÁLVULA | CANTIDAD | CONDICIÓN: ABIERTA / CERRADA | VERIFICACIÓN |
| V1 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V2 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V3 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V4 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V5 | 1 | CONECTADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V6 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V7 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V8 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V9 | 1 | ∩ CERRADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V10 | 1 | ∩ CERRADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V11 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V12 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V13 | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vx | 2 | ∩ TODAS CERRADAS | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vy | 4 | U TODAS ABIERTAS | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vda1 | 1 | ∩ CERRADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vda2 | 1 | ∩ CERRADA abierta. | <input checked="" type="checkbox"/> inspección |
| Vdv1 | 1 | U ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv2 | 1 | ∩ CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vrc | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vi | 1 | U ABIERTA | <input type="checkbox"/> → |
| Vp | 3 | ∩ CERRADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| (SISTEMA DE COMBUSTIBLE) | | | |
| Vc | 1 | U ABIERTA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| F | 1 | U ABIERTA (SOLO GIRAR 2 VECES) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Vcp | 1 | U ABIERTA | <input type="checkbox"/> No mover |
| Vsa | 1 | ∩ CERRADA | <input type="checkbox"/> faltan |
| Vsb | 1 | ∩ CERRADA | <input type="checkbox"/> |

(V11, V12, V13 son consideradas Vy o SIEMPRE ABIERTAS debido a su complejidad de manipulación, porque es importante resguardar la seguridad del operador del Generador de Vapor).

GLOSARIO

| | |
|--------------------------------------|--|
| ➤ F: Filtro de combustible | ➤ Vi: Válvula de inspección |
| ➤ Vc: Válvula de combustible | ➤ Vrc: Válvula de retorno de condensados |
| ➤ Vcp: Válvula de control de presión | ➤ Vsa: Válvula solenoide alta presión |
| ➤ Vda: Válvula de drenado de agua | ➤ Vsb: Válvula solenoide baja presión |
| ➤ Vdv: Válvula de drenado de vapor | ➤ Vp: Válvula de prueba |

V.B.

Figura 4.8 Prueba de factibilidad de la Tabla de verificación previa al arranque

TABLA DE VERIFICACIÓN POSTERIOR AL FINALIZAR EL USO DEL GENERADOR DE VAPOR

(Favor de palomear la celda de verificación conforme se cumple la revisión)

| GENERADOR DE VAPOR (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA, VAPOR Y CONDENSADOS) | | | |
|---|----------|------------------------------|-------------------------------------|
| VÁLVULA | CANTIDAD | CONDICIÓN: ABIERTA / CERRADA | VERIFICACIÓN |
| V1 | 1 | N/A CERRADA (opcional) | <input type="checkbox"/> |
| V2 | 1 | CERRADA " | <input type="checkbox"/> |
| V3 | 1 | CERRADA " | <input type="checkbox"/> |
| V4 | 1 | CERRADA . | <input type="checkbox"/> |
| V5 | 1 | Verific. DESCONECTADA | <input type="checkbox"/> |
| V6 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V7 | 1 | CERRADA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| V8 | 1 | CERRADA no manipular | <input type="checkbox"/> |
| V9 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V10 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| V11 | 1 | ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V12 | 1 | ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| V13 | 1 | ABIERTA | <input type="checkbox"/> |
| Vx | 2 | TODAS CERRADAS | <input type="checkbox"/> |
| Vy | 4 | TODAS ABIERTAS | <input type="checkbox"/> |
| Vda1 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vda2 | 1 | CERRADA abierta 30min | <input type="checkbox"/> |
| Vdv1 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vdv2 | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vrc | 1 | CERRADA abierta generalmente | <input type="checkbox"/> |
| Vi | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| Vp | 3 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| (SISTEMA DE COMBUSTIBLE) | | | |
| Vc | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |
| F | 1 | ABIERTA (SOLO GIRAR 2 VECES) | <input type="checkbox"/> |
| Vcp | 1 | ABIERTA no tocar | <input type="checkbox"/> |
| Vsa | 1 | CERRADA > indicaciones | <input type="checkbox"/> |
| Vsb | 1 | CERRADA | <input type="checkbox"/> |

NOTAS (ESCRIBIR EN ESTA ZONA EN CASO DE INCIDENCIA EN LA VERIFICACIÓN):
 N/A - Normalmente Abierta
 N/C - Normalmente Cerrada

Figura 4.9 Prueba de factibilidad de la Tabla de verificación posterior al finalizar el uso del GV

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Establecimiento de Bitácora

Cabe destacar, que anterior a este trabajo no había en la Facultad una Bitácora para el mantenimiento, la realización de la Bitácora es crédito de la Mtra. Elisa Viñas en base a las necesidades que se determinaron en esta tesis de acuerdo al Manual y a la tabla comparativa que se muestra en el apartado E del anexo.

Es por ello, que ahora hay un documento donde se pueden plasmar las pruebas de pH y alcalinidad, con las cuales se rectificó la dosificación de químicos que antes de la presente tesis se tenía, mejorando la calidad del agua que se usa en el GV. También administrativamente se puede medir el tiempo de uso para determinar la cantidad en la compra de reactivos de la marca Clayton y de combustible diésel por semestre, así como el periodo de deshollinado, o si se realizaron paros momentáneos o paros al final de la jornada, o si se requiere cualquier tipo de mantenimiento. Todo esto es con el fin principal del correcto uso del equipo, prescindiendo con ello de incrustación o cualquier tipo de falla por uso imprudente del Generador.

Actualmente la Bitácora ya es un documento oficial, el cual es utilizado cotidianamente por los técnicos del laboratorio de química, garantizando la calidad de su trabajo, la comunicación y la integridad del Generador de Vapor.

Establecimiento del manual de operación

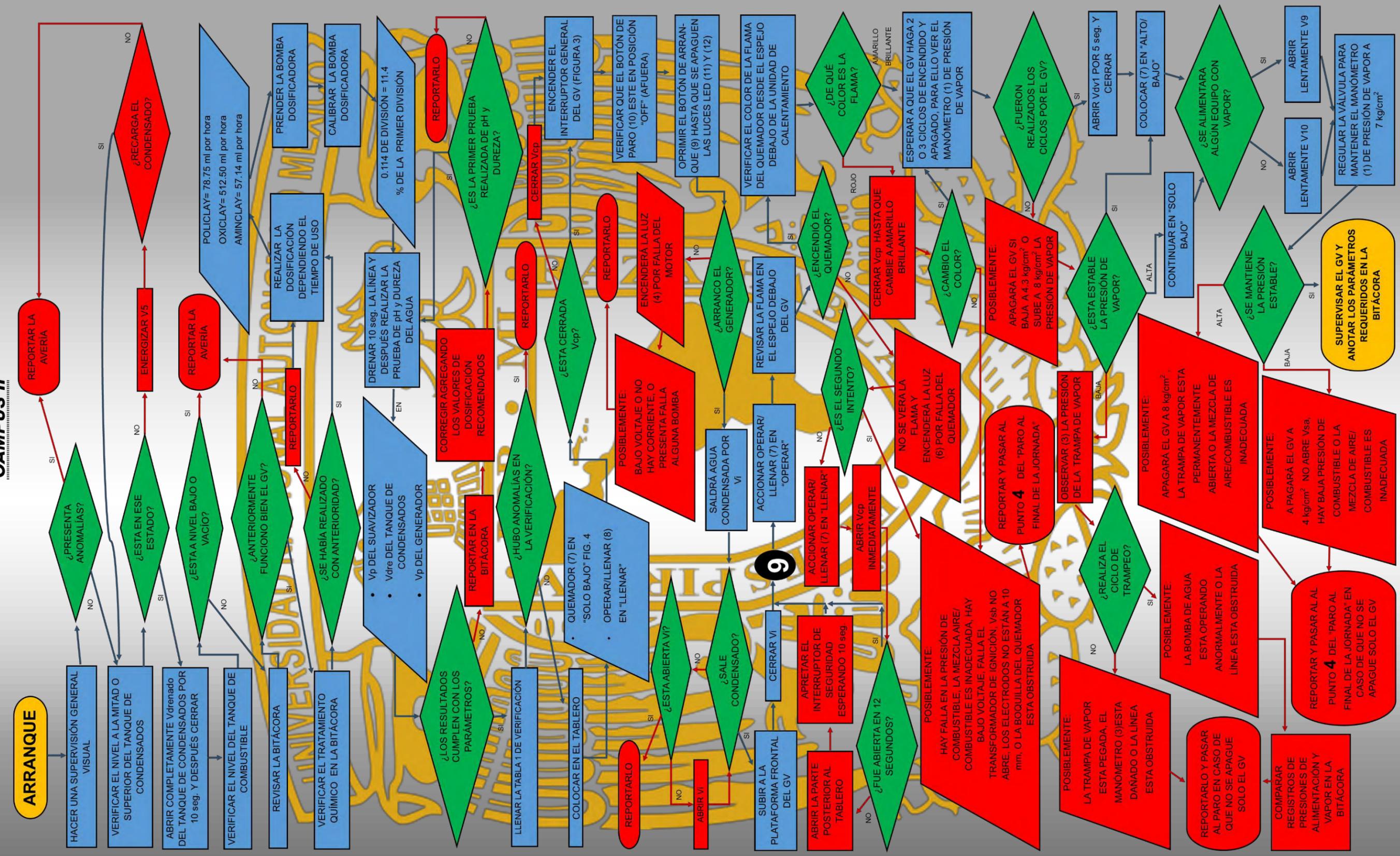
Al comparar los distintos procedimientos y manuales, se concluyó que éstos están diseñados para un correcto funcionamiento del equipo, es decir, su funcionalidad es para casos en los que el Generador de Vapor trabaja de manera perfecta (sin inconvenientes y averías), pero los procedimientos no dan solución a todas las variables que pueden ocurrir, inclusive por probabilidad se conoce que las maquinas pueden fallar en cualquier momento y además el error humano siempre es un factor que puede estar presente en cada jornada de trabajo.

Como solución a lo anterior se diseñó un diagrama de flujo, este cumple con la característica de que todas las variables están pensadas para que aunque el GV falle u ocurra algún inconveniente externo al equipo, se tenga una solución o un posible diagnóstico, que asegure el correcto funcionamiento del GV EO60 de la FES Zaragoza.

Cabe destacar que en su diseño se utilizaron distintos colores y figuras, para una fácil identificación y correcto uso del diagrama. Las flechas y formas de color azul son los pasos del manual en los que se asegura el arranque y paro en condiciones óptimas del GV; las formas de color verde son decisiones en las que se cuestiona y se evalúa la eficiencia del procedimiento; las flechas y formas de color rojo representan una falla, que al dar seguimiento conforme a los pasos se llega a una solución o a un diagnóstico.

Aunado con lo anterior surgió como uno de los productos finales el siguiente diagrama de flujo, ya autorizado por la Mtra. Elisa Viñas para el seguimiento de los procedimientos obtenidos mostrados a continuación:

CAMPUS II



Establecimiento de Listas de Verificación

Las Listas de Verificación son un documento completamente nuevo para FES Zaragoza en la operación del GV, ya que para su realización se etiquetaron absolutamente todas las válvulas, y junto con diagramas hidráulicos se mejoró la identificación y manipulación del equipo.

Es importante mencionar que se tomaron como base las Listas de verificación realizadas por el Mtro. Jorge Vázquez Cervantes de la FES Aragón, en donde este documento es parte fundamental de la operación del GV, asegurando con su uso la facilidad de que cualquier persona pueda operarlo. Las Listas de Verificación presentes en esta tesis, se diferencian en que se diseñaron en base a otra necesidad, por ejemplo la distribución de los cuartos de máquinas, líneas hidráulicas, líneas de vapor, la cantidad, colocación y nombramiento de las válvulas son distintos.

Así las Listas han sufrido adecuaciones y distintas mejoras, para facilitar más su trabajo con el GV de FES Zaragoza en particular. Entre sus características se destacan: el uso coordinado de diagramas hidráulicos para la identificación de válvulas, para evitar tener olvidos por falta de conocimiento en la cantidad de válvulas que deben ser manipuladas; la rotación de las condiciones de las distintas válvulas, ya que por la distinta orientación se dificulta al operador la noción de los estados abiertos y cerrados; así como la suma de un breve glosario para conocer el significado de las literales utilizadas en las válvulas.

Cabe resaltar, que mientras continúe la distribución de los elementos, las etiquetas y el nombramiento de las válvulas, las Listas de Verificación serán vigentes para ese Generador.

En la prueba de factibilidad, las Listas fueron cuestionadas por su tiempo de realización, ya que fueron consideradas como un procedimiento lento. Anteriormente los técnicos, memorizaban y siguiendo las líneas de las tuberías realizaban una verificación de las condiciones de las válvulas, asegurando velocidad en su realización pero acrecentando excesos de seguridad por confiar en su memoria. Provocando descuidos como fugas de agua y falta de comunicación, ya que la verificación era limitada, porque si algún operador movía una válvula que no observará el otro técnico en la operación, era

inminente una eventualidad al utilizar el GV. Es por ello que mientras se utilicen las Listas de Verificación, se dejaran esos inconvenientes de lado, sacrificando un par de minutos para la supervisión pero evitando eventos que afecten el procedimiento.

Otra característica determinante en la realización de la prueba, fue que al utilizar la Tabla 2 de Verificación se demostró que los técnicos anteriormente con algunas válvulas no invertían sus condiciones, es decir, que no cambiaban la apertura de Abierto a Cerrado. Con ello, los técnicos minimizaban la utilización de las válvulas, pero la intención de cambiar las condiciones de las válvulas radica principalmente en que al dar mantenimiento al sistema se facilita el trabajo para que no ocurran fugas de agua dura en equipos exclusivos de agua suave, o fugas de combustible, que pueden afectar la integridad del equipo y la seguridad de los operadores. Es por esto, que se resaltó la importancia de las Listas para beneficio y facilidad en su trabajo.

También con la prueba de factibilidad se demostró que cualquier persona puede utilizar las Listas, y que al familiarizarse con ellas es más fácil y rápido colocar las válvulas en los estados recomendados, ya que funcionaron eficazmente en el Arranque y Paro que realizó la Mtra. Elisa Viñas. Así que, también como la Bitácora de Mantenimiento será un documento de rutina, que asegurará el correcto funcionamiento del Generador.

Énfasis referente a la Seguridad

Siempre se ha resaltado cuidar la integridad y seguridad del equipo, ya que un incorrecto uso puede mermar los componentes. Principalmente, garantizar la calidad del agua significa cuidar el GV, al evitar la formación de incrustación en la unidad y en tuberías alternas.

Para ello en la realización de esta tesis se mejoró la dosificación del reactivo, en parámetros de cantidad y seguridad, debido a que se reparó la bomba dosificadora que se encontraba dañada, asegurando de esta manera la integridad de los técnicos en el manejo del Oxiclady, Policlady y Aminclady, ya que por sus características causticas éstos son altamente corrosivo a la piel, y los operadores estaban expuestos a un contacto o a cualquier otro tipo de accidente al suministrarlos.

En la prueba de factibilidad al realizar la dosificación, y en las pruebas de dureza y alcalinidad, se demostró la fácil manipulación de los químicos, haciendo énfasis a la seguridad con los respectivos cuidados con guantes y bata, y del uso de la bomba dosificadora reparada.

Anteriormente el GV en la FES Zaragoza fue considerado peligroso por algunas personas no doctas en la materia, algo que no podía dejarse de lado en este proyecto, ya que al hacer énfasis en la seguridad, es importante mencionar que es un equipo completamente seguro como se recalca en el apartado 1.3.1 debido a sus bastos elementos de seguridad y protecciones, que minimizan cualquier tipo de inconveniente que afecte la integridad física de operadores y estudiantes de la facultad.

Con ello, se afirma que siguiendo las sugerencias mencionadas en la tesis y en el manual, el GV realizara un trabajo conforme a sus objetivos y estándares de diseño, sin causar cualquier tipo de dificultad o falla no relacionada con el paso del tiempo o que la fatiga afecte.

Satisfacción del cliente

Testimonio de la prueba de factibilidad del manual de operación del generador de vapor

El manual de operación y paro generado por el alumno Hugo Cano Ricárdez y supervisado por el Maestro Jorge Vázquez Cervantes para el del equipo de generación de vapor modelo E60 de Clayton ubicado en el cuarto de máquinas de la FES Zaragoza campus 2 obedece a la búsqueda de soluciones a un problema multifactorial de operación y mantenimiento del generador.

Uno de estos problemas es de que no se disponía de un manual de arranque y paro del equipo adaptado al uso que se le da aquí, además, de que en cada turno el paro del equipo se hacía de forma diferente de acuerdo con el criterio del personal operario aunado a esto, el tratamiento químico que se le daba al agua de alimentación al generador no era precisamente el adecuado lo que en suma generaba ocasionalmente malfuncionamiento que a la larga derivaría en un deterioro acelerado del equipo. Por lo anteriormente planteado, nos dimos a la tarea de resolver cada uno de los inconvenientes que se identificaron.

Uno de ellos fue el de unificar la operación del generador de vapor a través de la elaboración de un manual de la operación y paro del equipo, así como el de incluir el tratamiento adecuado que debe darse al agua de alimentación al generador por lo que la FES Aragón a través de la experiencia del maestro Jorge Vázquez y el alumno Hugo Cano nos brindó su valiosa colaboración para realizar esta tarea.

Al final de la tarea se obtuvo un manual que consideraba la mayoría de los aspectos observados y que tenía en cuenta no solo la operación del equipo de generación de vapor sino también la cuestión del tratamiento químico del agua, generación de hojas de verificación, etiquetado de válvula y esquemas ilustrativos para una fácil identificación de estas, y hasta la obtención de un manual rápido de operación del equipo. Todos estos documentos generados, así como el manual de operación, prueban la factibilidad de mejora operativa por parte del personal operario del equipo de generación de vapor E60 de la FES Zaragoza.

Atentamente,



M. en I. Elisa B. Viñas Reyes
Técnico Académico Titular A
Responsable de Planta Piloto

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armstrong. (1998). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados*. EUA: Armstrong International Inc. [8-9]
- [2] Ashton, T. S. (1981). *La revolución industrial*. México: Fondo de cultura económica. [48, 83, 85, 86, 105]
- [3] Cengel, Y. A. (2012). *Termodinámica* (Séptima ed.). México: Mc Graw Hill. [62, 561, 562]
- [4] Clayton. (1997). *Curso de operación y mantenimiento para las calderas de vapor Clayton*. México: Clayton de México. [28, 65]
- [5] Clayton. (2005). *Manual de instrucciones, Generador de vapor, Modelo E10*. México: Clayton de México. [13, 22]
- [6] Clayton. (2016). *Manual de consulta, Calderas y periféricos*. México: Clayton de México. [2, 3, 25, 32, 33, 71]
- [7] Clayton. (2018). *Manual de consulta, Tratamiento de agua de alimentación*. México: Clayton de México. [2-4, 17, 19, 33, 38, 43]
- [8] Clayton de México S.A. de C.V. (2005). *Manual de instrucciones: Modelo E-60 con bomba modular*. México, D.F.: Clayton. [4, 9, 15, 20-24, 48, 49]
- [9] Diario Oficial de la Federación. (2011). *NOM-020-STPS-2011* (Vol. 2 SECCIÓN). MÉXICO: SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. [21]
- [10] docencia, L. d. (2016). *Manual de laboratorio y taller de proyectos de 6° semestre*. México: FES Zaragoza UNAM. [168]
- [11] docencia, L. d. (2016). *Manual de laboratorio y taller de Proyectos de 7° semestre*. México: FES Zaragoza UNAM.
- [12] Hewitt, P. G. (2007). *Física conceptual* (Décima ed.). México: Pearson Educación. [765]
- [13] Shields, C. D. (1965). *Calderas. Tipos, características y sus funciones*. México: CECOSA-Mac Graw Hill. [21-24, 28, 91, 93, 95, 102, 103]

PAGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

[14] <http://www.clayton.com.mx/>

[15] <https://www.google.com.mx/maps/place/FES+Zaragoza/@19.384743,-99.0383695,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85d1fda31eeb5fe9:0x3e272eca220eb0a4!8m2!3d19.384743!4d-99.0361808>

[16] <https://termicayfluidos12.blogspot.com/2016/08/laboratorio-de-maquinas-termicas.html> (Manual 1ª parte: Ciclo Rankine) [7]

ANEXO

ANEXO

A. PROCEDIMIENTO DEL TÉCNICO DE LA FES ZARAGOZA

PASOS PARA ENCENDIDO DEL GENERADOR DE VAPOR:

1. Verificar que el tanque de condensados tenga nivel de agua
2. Energizar equipo
3. Realizar las pruebas de dureza en la línea del suavizador y en el tanque de condensados (sin olvidar de drenar la línea 30 segundos) (NO TIENEN EQUIPO PARA REALIZARLAS, ASÍ QUE NO SE HACEN)
4. Realizar la preparación de los reactivos químicos (policlay y oxicluy) de acuerdo al cálculo (el cálculo no debe ser por más de 8 hrs.) Y encender la bomba dosificadora
5. Verificar nivel de sal en el tanque de salmuera (mínimo 7 kg/pie³ de resina)
6. Abrir las válvulas siguientes:
 - Abrir válvulas del tren de combustible
 - Válvula de descarga del tanque de condensados (la que alimenta a la bomba de refuerzo*)
 - Válvula de descarga de la bomba de refuerzo* (cuando aplique)
 - Válvula de flujo mínimo*
 - Válvula de alimentación a la bomba Clayton
 - Válvula de alimentación del serpentín
 - Válvula de inspección de llenado
 - Válvula de drene del separador
 - Válvula de descarga de la trampa
 - Encender bomba de refuerzo
7. Cerrar las siguientes válvulas
 - Válvula de purga del serpentín
 - Válvula de descarga de vapor
8. En el tablero de control verificar que el interruptor “llenado-operación” se encuentre en llenado, el interruptor de “fuego bajo-fuego alto” se encuentre en fuego bajo y el interruptor “bomba-purga”* se encuentre en bomba.
9. Oprimir botón de arranque (por 5 segundos) para llenar la unidad de calentamiento.

Nota: comprobar que el equipo bombea adecuadamente (cerrando poco a poco la válvula de alimentación al serpentín, en caso de no subir la presión se debe purgar la bomba de agua).
10. Verificar un flujo de agua constante en la válvula de inspección de llenado, una vez que se tenga flujo, cerrar la válvula.
11. Cambiar de posición el interruptor “llenado-operación” a operación

12. Cuando el control de temperatura indique 110°C cerrar la válvula de purga del separador de vapor.
13. Esperar a que el generador realice tres ciclos de encendido.
14. Abrir lentamente la válvula de descarga del vapor para evitar caída de presión
15. Después de 5 minutos de trabajo continuo cambiar posición del selector “fuego bajo-fuego alto” a fuego alto (según la de manda).

Nota: no olvidar las purgas programadas cada 8 hrs. (drene del fondo del tanque de condensados y en el separador de vapor por lapsos de 10 segundos)

Nota: “En algunos equipos de baja capacidad, de acuerdo al modelo solo tiene interruptor purga-operación por lo cual para llenar el equipo deberán posicionarlo en operación manteniendo la válvula de gas del quemador cerrada, una vez que llene la unidad se abre la válvula de gas para operar”

SECUENCIA DE PARO DEL GENERADOR DE VAPOR (PARO EN SECO).

1. Apagar bomba de refuerzo y bomba dosificadora
2. En caso de contar con el interruptor “bomba-purga” posicionarlo en purga.
3. Cerrar la válvula de alimentación a la bomba Clayton.
4. Abrir la válvula de purga del serpentín y controlar una presión de 6 kg/cm²
5. Esperar a que el equipo pare por alta temperatura (206°C en el display digital) y oprimir botón de paro

Nota: si no tiene display digital, mantener quemador encendido 30 segundos y seguir con el procedimiento

6. Cuando la presión de vapor caiga a 1.5 kg/cm² abrir la válvula de drene del separador
7. Cuando la presión llegue a “0” verificar a través de la válvula de inspección de llenado que el paro se haya realizado correctamente (al abrir la válvula de inspección debe salir un poco de agua y posteriormente puro vapor)

Nota: se recomienda esperar media hora para que el equipo se enfríe para cerrar las válvulas y dejar el generador aislado del aire.

SECUENCIA DE PARO HÚMEDO (MÁXIMO DOS DÍAS INUNDADO)

1. Cambiar de posición el selector “llenado-operación” en llenado
2. Controlar la presión de vapor a 7 kg/cm² para que la trampa de vapor siga operando y desaloje el exceso de agua
3. Una vez que la válvula de descarga de vapor se cierre por completo, esperar
4. Accionar el botón de paro

B. PROCEDIMIENTO DE LA FES ARAGÓN CON GENERADOR DE VAPOR EO60 (Manual 1ª parte: Ciclo Rankine)

1. Asegurarse de haber dado el tratamiento químico al agua en el tanque de condensados.
2. Asegurarse de que esté instalada la fotocelda en el Generador de Vapor.
3. **Llenar completamente la Tabla 1 de inspección** para el Generador de vapor y preparar los sistemas de alimentación al G.V.
4. Verificar que los botones o interruptores en el tablero del G.V. estén en las siguientes posiciones:
 - a) Bomba auxiliar en posición off,
 - b) Interruptor del quemador en fuego bajo,
 - c) Interruptor de Operar/llevar en quemador apagado
5. Se enciende el **interruptor de la bomba auxiliar** en el tablero del G.V. para iniciar el llenado del G.V.
6. Se termina de llenar cuando comienza a salir agua por la válvula de inspección **Vi**, entonces se debe cerrar.
7. Se procede a encender el motor del G.V. con el **botón verde en el tablero**, accionándose con ello el ventilador, la bomba de suministro de agua y la bomba del combustible. La bomba auxiliar se deja trabajando.
8. Se inicia el cierre de la **válvula de presión del combustible Vcp** hasta que el manómetro indique aproximadamente 8 kg/cm^2 .
9. Se acciona el **interruptor de Operar/llevar** a la posición del Quemador encendido y se continúa elevando la presión con la válvula de presión de combustible hasta que se indique aproximadamente 14 kg/cm^2 .
10. Al obtener la presión anterior tiene que haber encendido el quemador del G.V. esto se verifica con el encendido del **foco indicador** del tablero².
11. Una vez que enciende por cuarta ocasión, se procede a abrir la **válvula de descarga V8** y la **válvula de entrada al cabezal distribuidor V9**.
12. Con la válvula V8 descargando, se debe mantener la salida de vapor a una presión de 7 kg/cm^2 ³.

² En caso de haber encendido pasar al siguiente punto. En caso de no encender el foco indicador, significa que no ha encendido el quemador y deberá regresar el interruptor de Operar/llevar a quemador apagado, también regresar la válvula de presión de combustible a posición totalmente abierta. Entonces se verifica que la presión del agua de alimentación sea de 6 kg/cm^2 o mayor. Entonces, regresar al paso 9. El G.V. permanece encendido hasta alcanzar una presión de vapor de 8 kg/cm^2 . Entonces se apaga automáticamente el quemador y comienza a disminuir la presión. Al alcanzar la presión de 6 kg/cm^2 , el quemador se deberá encender automáticamente para volver a elevar la presión. Este ciclo de encendido-apagado lo debe hacer el G.V. tres veces para alcanzar su estabilidad. Si no volviera a encender automáticamente el quemador, se deberá regresar al punto 11 y verificar el botón verde del cerebro electrónico en el interior del tablero, donde el botón debe estar oprimido.

³ Esto se hace manualmente para evitar que el G.V. se detenga por baja presión (menor a 4 kg/cm^2) o por alta presión (8 kg/cm^2 o más).

13. Si el vapor no se está utilizando en algún equipo, se pueden mantener abiertas las **válvulas Vev y Vp del cabezal distribuidor**, para descargar el vapor al exterior e interior del laboratorio. Siempre mantener la presión de salida del vapor en 7 kg/cm^2 con el interruptor del Quemador en baja presión.
14. Para continuar operando verificar el nivel de combustible cada 10 minutos.
15. Para terminar la operación, se debe apagar el interruptor de Operar/ Llenar, posteriormente cerrar la válvula **V8** cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2 . Abrir toda la válvula de presión **Vcp** del combustible. Oprimir el botón rojo del tablero. Ya cerrada totalmente la válvula **V8** comenzar a abrir la válvula **Vda** hasta que salga vapor y no agua, entonces se cierra y se abre la válvula **Vdv** para descargar vapor del G.V.
16. Al no salir vapor, **llenar la Tabla 2 de inspección** para dejar los sistemas en condiciones estables.

C. PROCEDIMIENTO DEL MANUAL EO60 POR CLAYTON (Clayton E60, 2005)

ARRANQUE DEL GENERADOR

a) Coloque el interruptor OPERACIÓN-LLENADO (8) en posición de LLENADO (Quemador Apagado) y el interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en la posición de SOLO BAJO. Oprima el botón de Arranque (8) para hacer funcionar el motor que opera el ventilador, bomba de agua y bomba de combustible, en caso de falla del motor se encenderá la luz indicadora.

b) Ceba las Válvulas de Retención de la Bomba de Agua (M y N), aflojando dos vueltas los Tapones de las Válvulas hasta expulsar el aire, luego vuelva a apretar ambos tapones. No saque de su lugar los tapones, solo muévalos con la mano hasta que salga todo el aire y vuelva a apretarlos.

Nota: Cuando el Generador es nuevo o ha estado inactivo por largo tiempo, desmonte el conjunto: tapón, disco y resorte de cada una de las Válvulas de Retención (M y N) y frote los discos y asientos usando un lienzo limpio, para asegurar que su asentamiento sea adecuado. Cerciórese de reinstalar cada conjunto de válvula en el mismo orificio de donde fue desmontado, ya que sus resortes son diferentes.

c) Si al arrancar inicialmente, la bomba no está bien cebada o, si el Generador es arrancado totalmente vacío, cierre la Válvula de Alimentación de agua (D*) y desmonte el tapón de la Válvula de Retención Admisión (N), abra momentáneamente la Válvula de Alimentación de Agua (D*) para llenar la columna de la bomba. Vuelva a instalar el tapón de la Válvula de Retención (N) y abra nuevamente la Válvula de Alimentación de Agua (D*).

d) Compruebe que la bomba de agua ha quedado cebada, estrangulando lentamente la Válvula de Admisión a la Unidad (R). si la bomba esta cebada, la presión aumentara hasta que el manómetro Presión de Alimentación (2) llegue a 100 lb/pulg^2 (7 kg/cm^2) cuando la valvula esta casi cerrada. Después de la prueba abra totalmente la Válvula de Admisión de la Unidad (R).

e) Deje que la bomba llene el Generador hasta que el Manómetro de Presión de Vapor (1) registre una presión de aproximadamente 30 lb/pulg^2 (2.1 kg/cm^2). Esto será indicio de que el agua ha llegado al Domo Separador de Vapor (16) y que está siendo retornada al tanque de condensados a través de la Trampa de vapor (P*).

PRECAUCIÓN: No encienda el quemador hasta cerciorarse que la bomba está correctamente cebada y que el Generador esté lleno.

ENCENDIDO DEL QUEMADOR

a) Una vez que se ha llenado de agua el Generador, coloque el interruptor OPERACIÓN-LLENADO (7) en posición de OPERACIÓN (Quemador Encendido).

- b) Coloque el Interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en posición de SOLO BAJO.
- c) Cierre totalmente la Válvula de Control del quemador (F) y observe que se eleva la presión en el Manómetro de Combustible. La luz indicadora diésel encenderá señalando que se ha establecido la flama en el quemador.

PRECAUCIÓN: Si falla la flama del quemador (esto lo indicara una luz en el tablero de anunciadores), ABRA DE INMEDIATO LA VÁLVULA DE CONTROL DEL QUEMADOR (F). Cuando la falla ocurre durante la operación normal, el control electrónico ESC interrumpirá automáticamente el acceso de combustible al quemador. Si la Válvula de Control del quemador (F) no es Abierta en los 12 segundos siguientes, un interruptor de seguridad integrado en el control electrónico se “disparada”. En ambos casos deberá buscarse y corregir la causa de la falla del quemador y presionar el botón del frente del control electrónico para poder reanudar la operación.

- d) Después que el quemador enciende, la presión de vapor se elevara hasta alcanzar el máximo ajustado. Espere a que el Generador haga dos o tres ciclos de encendido y apagado.
- e) En el encendido inicial, la lectura de presión de vapor será inestable, hasta que la Trampa de Vapor (P^*) saque todo el condensado del domo separador de vapor. El quemador encenderá y apagara algunas veces hasta que la presión se estabilice.
- f) Cuando la presión se haya estabilizado, coloque el interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en posición de ALTO/BAJO luego, abra lentamente la Válvula de Descarga de Vapor (A) evite que la presión caiga menos de 60 lb/pulg^2 (4.3 kg/cm^2) estrangulando la Válvula de Descarga de Vapor (A).
- g) Unas horas después de que el Generador esté operando a plena capacidad, anote en su Bitácora de Mantenimiento la presión que registra el Manómetro de Presión de Alimentación (2) y la de Manómetro de Presión de Vapor (1).
- h) Este dato es de suma importancia para determinar posteriormente, si se está formando incrustación en la Unidad de Calentamiento. (Vea párrafo 6.4).
- i) Observe la apariencia del fuego. Si el fuego es excesivamente azul o amarillo ajuste la compuerta de aire.

OPERACIÓN AUTOMÁTICA

- a) Cuando la presión de vapor se eleva 15 lb/pulg^2 (1.05 kg/cm^2 abajo del máximo), el interruptor de presión accionara los controles para regresar el quemador a operación a fuego bajo. Cuando la demanda de vapor es ligera, el interruptor de presión de vapor actuara apagando el quemador al elevarse la presión a 100 lb/pulg^2 (7 kg/cm^2) o al máximo. El interruptor de Presion de Vapor, reconectara automáticamente encendiendo el quemador cuando la presión descienda de 15 lb/pulg^2 (1.05 kg/cm^2) abajo del máximo. Por lo tanto el quemador ciclara encendiendo y apagando durante las demandas ligeras de vapor y el motor y bomba operaran continuamente para mantener balanceado el sistema.
- b) Si aumenta la demanda de vapor, el quemador automáticamente operada a plena capacidad (fuego alto) a través del Interruptor Modulador que reconocerá cuando

la presión de vapor baje a unas 70 *lb/pulg²* (4.7 *kg/cm²*) o aproximadamente 30 *lb/pulg²* (2.1 *kg/cm²*) abajo del máximo. Por tanto, con demandas moderadas o pesadas de vapor, el quemador ciclara entre fuego bajo y fuego alto u operada continuamente a fuego alto dependiendo de la demanda de vapor.

- c) Si el quemador falla al encender durante la operación normal del Generador, el Control Electrónico de Seguridad actuara para proteger la unidad.
- d) En caso de escasez o falta de agua actuara el Control de Temperatura Contra Falla de Agua (WFTC) apagando inicialmente el quemador, en este momento se encenderá la Luz Indicadora IL-FP, o bien actuará la protección la protección secundaria (SPR) parando totalmente el Generador y encendiendo la luz indicadora IL-SP. En dicho caso, con el equipo apagado, busque y corrija la causa de la falta de agua antes de intentar reanudar la operación.

PRECAUCIÓN: Asegúrese de tener un suministro constante y suficiente de agua en todo tiempo, para evitar la eventualidad del daño al equipo.

PARO DE LA UNIDAD

NOTA: Los paros cortos durante la operación normal del Generador pueden realizarse de acuerdo a las instrucciones del párrafo 5.6.1. Los paros al final de turno de trabajo o de fin de semana deben efectuarse de acuerdo al párrafo 5.6.2 si considera que hay peligro de que la unidad se congele, siga las instrucciones del párrafo 5.6.4.

PAROS MOMENTÁNEOS

- a) Apague el motor abriendo la Válvula de control del Quemador (F).
- b) Pare el Generador presionando el Botón de Paro (8).
- c) Cierre la Válvula de Descarga de Vapor (A) y Desconecte la Bomba Dosificadora.

PAROS AL FINAL DE LA JORNADA DIARIA O DE FIN DE SEMANA

- a) Con la unidad operando a presión de vapor normal, cierre la Válvula de Alimentación de Agua (D) y abra la Válvula de Purga de la Unidad de Calentamiento (J), así como la Válvula de Drene del Separador (E).
Empiece a contar 30 segundos.
- b) Progresivamente, cierre la Válvula de Descarga de Vapor (A) de tal manera que la presión de vapor permanezca justo abajo del punto de corte del Modulador de Presión. Esto permitirá que el Quemador continúe operando a un máximo.
- c) Después de los 30 segundos, apague el quemador.
- d) Después de apagar el Quemador, abra la Válvula del Control del Quemador (F) y apague la unidad

D. MANTENIMIENTO (Clayton E60, 2005)

EN CASO DE QUE FALLE LA PURGA AUTOMÁTICA

Debe purgar las Válvulas de Retención de la Bomba de Agua (**M y N**) de manera manual, es necesario que afloje dos vueltas los Tapones de las Válvulas hasta expulsar el aire, luego vuelva a apretar ambos tapones (no es necesario sacar de su lugar los tapones). Y para **comprobar que la bomba de agua ha quedado purgada; estrangule lentamente V8**, si la bomba esta purgada, la presión aumentara hasta que llegue a 100 lb/pulg^2 (7 kg/cm^2) cuando la válvula este casi cerrada. **Después de la prueba abra totalmente V8.**

Si al arrancar inicialmente, **la bomba no está bien cebada o, si el Generador es arrancado totalmente en vacío**, cierre **V7** y desmonte el tapón **N**, abra momentáneamente **V7** para llenar la columna de la bomba. Vuelva a instalar el tapón de **N** y abra nuevamente **V7**.

NOTA: en caso de que el Generador haya estado inactivo por un largo tiempo, desmonte el conjunto (M y N) y frote los discos y asientos usando un lienzo limpio para asegurar un buen asentamiento.

IMPORTANTE: **No encienda el quemador** hasta cerciorarse que la bomba está **correctamente cebada y que el Generador esté lleno**. Se termina de llenar el sistema cuando comienza a salir agua por la válvula de inspección **Vi**, entonces se debe cerrar.

E. COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE DEL GV

| NUEVO PROCEDIMIENTO | PROCEDIMIENTO DEL TÉCNICO DE LA FES ZARAGOZA | PROCEDIMIENTO POR MANUAL CLAYTON EO60 |
|---|---|---------------------------------------|
| <p>ARRANQUE</p> <p>1. Hacer una supervisión previa del equipo. Ver que esté en condiciones adecuadas para su uso, que se presente el sistema de alimentación de agua sin fugas, verificar el nivel del agua a la mitad en el tanque de condensados, verificar el nivel lleno en el tanque de combustible, revisar en la bitácora que el GV ya ha trabajado correctamente para evitar inconvenientes al utilizarlo, abrir completamente Vdrenado del tanque de condensados por 10 seg. y después cerrar.</p> | <p>1) Verificar que el tanque de condensados tenga nivel de agua.</p> <p>5) Verificar nivel de sal en el tanque de salmuera (mínimo 7 kg/pie³ de resina)</p> | |
| <p>2. Asegurarse de haber dado el tratamiento químico al agua en el tanque de condensados., utilizando la Bitácora de Mantenimiento. Recordar que para una hora se requiere dosificar 78.15 ml de Policlay, 512.50 ml de Oxiclay, 57.14 ml de Aminclay. Para ello prender y colocar el control de la bomba dosificadora en 11.4% de la primer división.</p> | <p>4) Realizar la preparación de los reactivos químicos (policlay y oxicl原因) de acuerdo al cálculo (el cálculo no debe ser por más de 8 hrs.) Y encender la bomba dosificadora.</p> | |
| <p>3. Registrar la calidad del agua en la Bitácora de Mantenimiento, para ello realizar las pruebas de dureza y pH, en la línea del suavizador, en el tanque de</p> | <p>2) Realizar las pruebas de dureza en la línea del suavizador y en el tanque de condensados (sin olvidar de drenar la línea 30 segundos) (NO TIENEN EQUIPO</p> | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>condensados y en la Vp del Generador, usar la pluma electrónica para su realización, sin olvidar drenar la línea 10 segundos.</p> | <p>PARA REALIZARLAS, ASÍ QUE NO SE HACEN)</p> | |
| <p>4. Llenar completamente la Tabla 1 de verificación para el Generador de vapor.</p> | <p>6) Abrir las válvulas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abrir válvulas del tren de combustible • Válvula de descarga del tanque de condensados (la que alimenta a la bomba de refuerzo*) • Válvula de descarga de la bomba de refuerzo* (cuando aplique) • Válvula de flujo mínimo* • Válvula de alimentación a la bomba Clayton • Válvula de alimentación del serpentín • Válvula de inspección de llenado • Válvula de drene del separador • Válvula de descarga de la trampa • Encender bomba de refuerzo <p>7) Cerrar las siguientes válvulas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Válvula de purga del serpentín • Válvula de descarga de vapor | |
| <p>5. Verificar que los botones o interruptores en el tablero del GV estén en las siguientes posiciones:</p> <p>a) Interruptor del quemador en SOLO BAJO (7) (de la Figura 4).</p> | <p>8) En el tablero de control verificar que el interruptor “llenado-operación” se encuentre en llenado, el interruptor de “fuego bajo-fuego alto” se encuentre en fuego bajo y el interruptor “bomba-purga”* se encuentre en bomba.</p> | <p>ARRANQUE DEL GENERADOR</p> <p>a) Coloque el interruptor OPERACIÓN-LLENADO (8) en posición de LLENADO (Quemador Apagado) y el interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en la posición de SOLO BAJO. Oprima el botón</p> |

| | | |
|---|---|--|
| <p>b) Interruptor de Operar/Llenar (8) en posición LLENAR (QUEMADOR APAGADO).</p> | | <p>de Arranque (8) para hacer funcionar el motor que opera el ventilador, bomba de agua y bomba de combustible, en caso de falla del motor se encenderá la luz indicadora.</p> |
| <p>6. Energizar equipo. Encender el interruptor general del GV (vea Figura 3).</p> | <p>2) Energizar equipo.</p> | |
| <p>7. Para iniciar el llenado del GV. Verificar que el botón de paro (10) este en posición "off" (afuera) y oprimir el botón de Arranque (9) hasta que se apaguen las luces LED (11 y 12) para que empiece a fluir el agua por el sistema, funcionando el motor que opera el ventilador, la bomba de agua, la bomba auxiliar de agua y la bomba de combustible. En caso de falla del motor se encenderá la luz indicadora (4).</p> | <p>9) Oprimir botón de arranque (por 5 segundos) para llenar la unidad de calentamiento. Nota: comprobar que el equipo bombea adecuadamente (cerrando poco a poco la válvula de alimentación al serpentín, en caso de no subir la presión se debe purgar la bomba de agua).</p> | |
| <p>8. Encender el quemador hasta cerciorarse que el Generador esté lleno. El sistema estar lleno cuando comience a salir agua por la Vi (con ello se accionará la trampa de vapor de tipo cubeta invertida), entonces se debe cerrar Vi, para ello el operador debe estar sobre la plataforma frontal al GV para evitar el contacto con el agua.</p> | <p>10) Verificar un flujo de agua constante en la válvula de inspección de llenado, una vez que se tenga flujo, cerrar la válvula.</p> | <p>a) Compruebe que la bomba de agua ha quedado cebada, estrangulando lentamente la Válvula de Admisión a la Unidad (R). si la bomba esta cebada, la presión aumentara hasta que el manómetro Presión de Alimentación (2) llegue a 100 lb/pulg^2 (7 kg/cm^2) cuando la valvula esta casi cerrada. Despues de la prueba abra totalmente la Valvula de Admision de la Unidad (R). b) Deje que la bomba llene el Generador hasta que el Manómetro de Presión de Vapor (1) registre una presión de</p> |

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>aproximadamente 30 <i>lb/pulg²</i> (2.1 <i>kg/cm²</i>). Esto será indicio de que el agua ha llegado al Domo Separador de Vapor (16) y que está siendo retornada al tanque de condensados a través de la Trampa de vapor (P*).</p> <p>PRECAUCIÓN: No encienda el quemador hasta cerciorarse que la bomba está correctamente cebada y que el Generador esté lleno.</p> |
| <p>9. Accionar el interruptor de Operar/Llenar a la posición de Operar (Quemador encendido). La llama del quemador debe ser color amarillo brillante (para corroborar mire en el espejo que se encuentra debajo de la unidad de calentamiento), en caso de que la flama sea roja se debe cerrar Vcp hasta que la flama cambie de color. La luz indicadora del Quemador encenderá señalando que se ha establecido la flama en el quemador.</p> <p>^A PRECAUCIÓN: Si falla la flama del quemador y no enciende, no se verá la flama debajo de la unidad del calentamiento y la luz (6) apagará. Para solucionarlo, accionar Operar/Llenar (7) en Llenar, abrir inmediatamente Vcp y pasar al punto 9. Si la Vcp no es Abierta en los 12 segundos siguientes, abrir la parte posterior al tablero y apretar el interruptor de seguridad</p> | <p>11) Cambiar de posición el interruptor “llenado-operación” a operación.</p> | <p>ENCENDIDO DEL QUEMADOR</p> <ol style="list-style-type: none"> Una vez que se ha llenado de agua el Generador, coloque el interruptor OPERACIÓN-LLENADO (7) en posición de OPERACIÓN (Quemador Encendido). Coloque el Interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en posición de SOLO BAJO. Cierre totalmente la Válvula de Control del quemador (F) y observe que se eleva la presión en el Manómetro de Combustible. La luz indicadora diésel encenderá señalando que se ha establecido la flama en el quemador. <p>PRECAUCIÓN: Si falla la flama del quemador (esto lo indicara una luz en el tablero de anunciadores), ABRA DE INMEDIATO LA VÁLVULA DE CONTROL DEL QUEMADOR (F). Cuando la falla ocurre durante la operación normal, el control electrónico ESC interrumpirá automáticamente el acceso de combustible al quemador. Si la Válvula</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>integrado en el control electrónico por 10 seg. Para reanudar la operación pasar al punto 9, en caso de que no encienda la flama reportarlo y pasar al punto 4 del “Paro al final de la Jornada”</p> | | <p>de Control del quemador (F) no es Abierta en los 12 segundos siguientes, un interruptor de seguridad integrado en el control electrónico se “disparada”. En ambos casos deberá buscarse y corregir la causa de la falla del quemador y presionar el botón del frente del control electrónico para poder reanudar la operación.</p> <p>i) Observe la apariencia del fuego. Si el fuego es excesivamente azul o amarillo ajuste la compuerta de aire.</p> |
| <p>10. Después de que el quemador enciende, la presión de vapor se elevará hasta alcanzar el máximo ajustado. Esperar a que el Generador haga dos o tres ciclos de encendido y apagado.</p> | <p>12) Cuando el control de temperatura indique 110°C cerrar la válvula de purga del separador de vapor.</p> <p>13) Esperar a que el generador realice tres ciclos de encendido.</p> | <p>d) Después que el quemador enciende, la presión de vapor se elevara hasta alcanzar el máximo ajustado. Espere a que el Generador haga dos o tres ciclos de encendido y apagado.</p> <p>e) En el encendido inicial, la lectura de presión de vapor será inestable, hasta que la Trampa de Vapor (P*) saque todo el condensado del domo separador de vapor. El quemador encenderá y apagará algunas veces hasta que la presión se estabilice.</p> |
| <p>11. Cuando la presión se haya estabilizado, abrir Vdv1 por 5 seg. y cerrar (para desaguar agua líquida del separador), después colocar el interruptor del quemador (7) SOLO BAJO-ALTO/BAJO en posición de ALTO/BAJO, luego abrir lentamente V9</p> | <p>14) Abrir lentamente la válvula de descarga del vapor para evitar caída de presión.</p> <p>15) Después de 5 minutos de trabajo continuo cambiar posición del selector “fuego bajo-fuego alto” a fuego alto (según la de manda).</p> | <p>f) Cuando la presión se haya estabilizado, coloque el interruptor SOLO BAJO-ALTO/BAJO (6) en posición de ALTO/BAJO luego, abra lentamente la Válvula de Descarga de Vapor (A). evite que la presión caiga menos de 60 <i>lb/pulg²</i> (4.3 <i>kg/cm²</i>) estrangulando la Válvula de Descarga de Vapor (A).</p> |

| | | |
|---|---|---|
| <p>para descargar el vapor regulando a 7 kg/cm² la presión del manómetro (1) y evitar que la presión caiga menos de 4.3 kg/cm². Después de esto el generador trabajará estable, y estará de forma automática alternando FUEGO ALTO o FUEGO BAJO dependiendo de la demanda de vapor.</p> | <p>Nota: no olvidar las purgas programadas cada 8 hrs. (drene del fondo del tanque de condensados y en el separador de vapor por lapsos de 10 segundos.</p> | |
| <p>12. Una hora después de que el Generador esté operando a plena capacidad, anotar los parámetros que la Bitácora de Operación requiere. Principalmente anotar la presión que registra cada hora el Manómetro de Presión de Alimentación (2) y el Manómetro de Presión de Vapor (1). Este dato es de suma importancia para determinar posteriormente, si se está formando incrustación en la Unidad de Calentamiento.</p> | | <p>g) Unas horas después de que el Generador esté operando a plena capacidad, anote en su Bitácora de Mantenimiento la presión que registra el Manómetro de Presión de Alimentación (2) y la de Manómetro de Presión de Vapor (1).</p> <p>h) Este dato es de suma importancia para determinar posteriormente, si se está formando incrustación en la Unidad de Calentamiento.</p> |
| <p>13. Si el vapor deja de utilizarse en algún equipo, se puede mantener abierta la válvula V10, para descargar a la atmosfera, siempre manteniendo la presión de 7 kg/cm² .</p> | | |

| F. COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS PROCEDIMIENTOS DE PARO DEL GV | | |
|---|--|---|
| NUEVO PROCEDIMIENTO | PROCEDIMIENTO DEL TÉCNICO DE LA FES ZARAGOZA | PROCEDIMIENTO POR MANUAL CLAYTON EO60 |
| PARO MOMENTÁNEO | | |
| 1. Hacer una supervisión general visual del equipo. Al presentar anomalías reportar a las autoridades y pasar al punto 4 del Paro al final del turno. | | |
| 2. Con la unidad operando a presión de vapor normal, colocar el interruptor del quemador (7) SOLO BAJO-ALTO/BAJO en posición SOLO BAJO , después apagar el quemador colocando el interruptor OPERAR/LLENAR (8) a la posición LLENAR (quemador apagado) . Revisar la flama debajo del GV, en caso de que no haya apagado, abrir Vcp y pasar al punto 5 del Paro al final del turno. | | a) Apague el motor abriendo la Válvula de control del Quemador (F). |
| 3. Parar el Generador presionando el Botón rojo de Paro (10) . | | b) Pare el Generador presionando el Botón de Paro (8). |
| 4. Cerrar V9 cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2 (para que la trampa de vapor siga operando), y desconectar la bomba dosificadora. Si no se mantiene en ese rango la presión, pasar al punto 5 del Paro al final del turno. | | c) Cierre la Válvula de Descarga de Vapor (A) y Desconecte la Bomba Dosificadora. |

| | | |
|--|--|--|
| <p>5. Para volver a trabajar, regresar al punto 9 del ARRANQUE del Generador de Vapor.</p> <p>PRECAUCIÓN: Recordar que no se puede dejar en este estado el Generador por un gran lapso de tiempo o para terminar la jornada, ya que aún hay presión y agua en el sistema, los cuales pueden dañar el equipo.</p> | | |
| <p>PARO AL FINAL DE LA JORNADA</p> <p>1. Con la unidad operando a presión de vapor normal, realizar la prueba de sulfitos antes de parar la unidad y anotar los resultados en la Bitácora de Operación.</p> | | |
| <p>2. Hacer el deshollinado. Colocar el interruptor del quemador (7) en BAJO/ALTO (de la Figura 4). Después abrir completamente Vdeshollinado, cerrar V9 y V10 cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 kg/cm^2 ni que baje de 6 kg/cm^2.</p> | | |
| <p>3. Esperar 5 min. Al concluir el tiempo, simultáneamente cerrar Vdeshollinado y abrir V9.</p> | | |
| <p>4. Después colocar el interruptor del quemador (7) en posición SOLO BAJO, y apagar el quemador colocando el interruptor OPERAR/LLENAR (8) a la</p> | <p>SECUENCIA DE PARO HÚMEDO (MÁXIMO DOS DÍAS INUNDADO)</p> <p>1) Cambiar de posición el selector "llenado-operación" en llenado.</p> | <p>e) Con la unidad operando a presión de vapor normal, cierre la Válvula de Alimentación de Agua (D) y abra la Válvula de Purga de la Unidad de</p> |

| | | |
|--|--|--|
| <p>posición LLENAR (quemador apagado). Revisar la flama debajo del GV, en caso de que no haya apagado abrir Vcp.</p> | | <p>Calentamiento (J), así como la Válvula de Drene del Separador (E). Empiece a contar 30 segundos. c) Después de los 30 segundos, apague el quemador.</p> |
| <p>5. Cerrar V9, cuidando que no se incremente la presión arriba de 7 <i>kg/cm²</i> ni que baje de 6 <i>kg/cm²</i> para que la trampa de vapor siga operando, al tener la presión deseada oprimir el Botón de Paro (10).</p> | <p>2) Controlar la presión de vapor a 7 <i>kg/cm²</i> para que la trampa de vapor siga operando y desaloje el exceso de agua.</p> | <p>f) Progresivamente, cierre la Válvula de Descarga de Vapor (A) de tal manera que la presión de vapor permanezca justo abajo del punto de corte del Modulador de Presión. Esto permitirá que el Quemador continúe operando a un máximo.</p> |
| <p>6. Continuar cerrando V9, ya cerrada totalmente comenzar a abrir simultáneamente Vda1 y Vda2, hasta que salga vapor y no agua, cuando esto ocurre cerrarlas, ahora abrir Vdv1 y Vdv2 para descargar el vapor del GV, y cerrarlas hasta que deje de salir vapor por ellas. En caso de que las válvulas sigan descargando fluido, pueden permanecer abiertas por 30 min.</p> | <p>3) Una vez que la válvula de descarga de vapor se cierre por completo, esperar.</p> | <p>e) Cuando la presión baje a cero, cierre la Válvula de Drene de la Unidad (J), la Válvula de Drene del Separador de Vapor (E), así como la Válvula de la Trampa de Vapor (P*). NOTA: Si la unidad opera continuamente, pare la unidad como se indica en los párrafos anteriores de “a” a la “d”, cada 8 horas. Esto eliminara los lodos precipitados dentro del sistema; luego vuelva a arrancar la unidad de manera normal.</p> |
| <p>7. Apagar el interruptor general del GV (pared izquierda), llenar la Tabla 2 de Verificación, para facilitar próximos usos o por si se llega a estar en mantenimiento el equipo.</p> | <p>4) Accionar el botón de paro.</p> | <p>d) Después de apagar el Quemador, abra la Válvula del Control del Quemador (F) y apague la unidad.</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>8. Anotar en la sección “Observaciones” de la Bitácora de Operación, si el paro se realizó exitosamente o si hubo alguna anomalía. Recordar que después de los 30 min. de drenado cerrar completamente Vda1, Vda2, Vdv1 y Vdv2.</p> | | |
|---|--|--|

